

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

**Návrh laboratorní úlohy ověřující
směrovou charakteristiku antén
s použitím bezodrazové stěny**

**Design of Laboratory Measurement
Verifying the Directional Antenna
Pattern Using an Absorber Wall**

Zadání bakalářské práce

Student: **František Folovský**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: Návrh laboratorní úlohy ověřující směrovou charakteristiku antén s
použitím bezodrazové stěny
Design of Laboratory Measurement Verifying the Directional Antenna
Pattern Using an Absorber Wall

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Laboratoř rádiových sítí disponuje bezodrazou stěnou pro měření vlastností antén. Cílem práce je navrhnout měření směrové charakteristiky antén za použití této stěny.

Vypracovaná práce bude splňovat následující body zadání:

1. Popis vlastností a parametrů bezodrazové stěny.
2. Popis měřicích metod ověřujících směrovost antény.
3. Návrh měřicí úlohy ověřující směrovost antény.
4. Ověření bodu 3 na vybraných vzorcích antén.

Seznam doporučené odborné literatury:

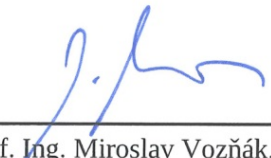
[1] BALANIS, Constantine A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3rd Edition. England: Wiley-Interscience, April 4, 2005. ISBN 978-0471667827.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 14. května 2020

.....
Folowsky

Chci tímto poděkovat všem za podporu a hlavně vedoucímu práce Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky.

Abstrakt

Cílem práce je navrhnout úlohu pro laboratorní měření ověřující směrovou charakteristiku antén za použití bezodrazové stěny. Na začátku práce jsou představeny bezodrazové stěny, jejich použití, parametry a vlastnosti. Poté se podrobně rozeberou měřicí metody ověřující směrovost antén s využitím bezodrazové stěny. Zmíněné měřicí metody jsou vzápětí využité v návrhu úlohy, která využívá nového vybavení univerzitní laboratoře rádiových sítí. Součástí práce je i samotné měření na vybraných vzorcích antén, a to konkrétně na DRH10, DRH370 a mikropáskové anténě. Tato bakalářská práce tímto poskytuje přehled dané problematiky a měřicí úlohu včetně návodu a ověření měření na vybraných vzorcích antén.

Klíčová slova: bezodrazová stěna, měření anténních parametrů, směrová charakteristika antény

Abstract

The main purpose of this Bachelor's thesis is to design of laboratory measurement verifying the directional antenna pattern using an absorber wall. At the beginning of the work are presented absorber walls, their parameters and properties. Then are described the measurement methods verifying directionality of antennas. In the next part these measuring methods are used for design laboratory measurement which using new equipment in the university radio network laboratory. These measurements on selected antennas are part of the work, namely measurements DRH10, DRH370 and microstrip patch antenna. This bachelor's thesis provides an overview of the issue and the measuring task, including instructions and verification of measurements on selected antenna samples.

Key Words: absorber wall, antenna measurements, directional antenna pattern

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1 Úvod	9
2 Vybrané parametry antén	10
2.1 Impedanční přizpůsobení	10
2.2 Elektromagnetické pole antény	10
2.3 Směrovost antény	10
2.4 Směrový diagram	11
2.5 Polarita antény	11
3 Bezodrazové stěny a komory	12
3.1 Absorpční panel	12
3.2 Bezodrazové komory	14
3.3 Mobilní měřicí buňky	15
4 Metody pro měření charakteristiky antény	16
4.1 Měření v blízké oblasti antény	16
4.2 Měření ve vzdálené oblasti antény	18
5 Návrh měřicí úlohy ověřující směrovost antény	22
6 Návod pro měření směrové charakteristiky antén	24
6.1 Frekvenční rozsah antény	24
6.2 Nastavení vektorového analyzátoru pro měření výkonové úrovně	24
6.3 Měření směrové charakteristiky antény	24
7 Ověření navržené úlohy za pomoci vybraných antén	25
8 Návrh automatizace měření	28
8.1 Konstrukce prototypu	28
8.2 Testování prototypu	29
9 Závěr	30
Literatura	31
Přílohy	32
A Seznam příloh	33

B	Katalogový list absorpčního panelu EHP-12 PCL	34
C	Katalogový list DRH10	35
D	Katalogový list DRH370	41
E	Návod pro měření	46
F	Šablona laboratorní úlohy	62
G	Vzorová laboratorní úloha	64
H	Měření metodou polovičního zisku	71

Seznam použitých zkratek a symbolů

D	– Rozměr antény [m]
G	– Zisk antény [dB]
L_0	– Ztráty šířením ve volném prostoru [dB]
P_t	– Vysílací výkonová úroveň [dBm]
P_r	– Naměřená výkonová úroveň [dBm]
R	– Vzdálenost od antény [m]
SWR	– Poměr stojatých vln [-]
VNA	– Vektorový obvodový analyzátor
λ	– Vlnová délka [m]

1 Úvod

V dnešní době se vyrábí antény různých tvarů a technologií. Aby se však dalo ověřit, zda je anténa správně navržena a vyrobena, musí se určit její parametry.

V první části jsou proto představeny vybrané parametry antén a popsány vztahy mezi nimi. Mimo jiné je zde představen směrovým diagramem reprezentující směrovou charakteristiku antény. Podle ní lze rozlišit dva základní typy antén, všesměrové ¹ a směrové.

Něž se však přistoupí k měření, je potřeba se zmínit o prostředí, ve kterém se dále zmíněné parametry měří. Jelikož málokdy bývá k dispozici dostatečně velké volné prostranství bez nežádoucího rušení ², přesouvá se měření do uzavřených prostor. Tyto speciální prostory se nazývají bezodrazové komory, o nich a o bezodrazových stěnách se zabývá druhá část.

Třetí část je zaměřena na metodiku měření vlastností antén. Z těchto vlastností se práce nejvíce zabývá ziskem a s tím spojeným směrovým diagramem antény. Metody měření jsou pro přehlednost rozděleny podle měřené oblasti antény na dvě skupiny. V obou skupinách jsou zmíněny jejich klady i zápory a představeni jejich zástupci.

Následně se v praktické části aplikují zmíněné teoretické znalosti a využijí se k vytvoření laboratorní úlohy. Tato úloha je uzpůsobená k využití univerzitního vybavení laboratoře rádiových sítí. Součástí praktické části je návod a měření na vybraných vzorcích antén, konkrétně na DRH10, DRH370 a mikropáskové anténě. Antény DRH10 a DRH370 plní účel ověření laboratorní úlohy. Zatímco odměření parametrů mikropáskové antény slouží jako vzor pro studenty, kteří potřebují návod, jak změřit parametry svých vyrobených antén.

Poslední část práce nastíní možnost automatizace měření pomocí prototypu rotačního zařízení, který by výrazně urychlil měření.

¹Všesměrové antény jsou zářiče, které vyzařují, oproti směrovým, rovnoměrně do celého prostoru. Hlavním zástupcem všesměrových antén je izotropický zářič.

²Rušením je myšleno vliv externích zdrojů způsobující chybu v měření, ale i negativní vliv měření na funkčnost okolních rádiových systémů.

2 Vybrané parametry antén

Pro uvedení do problematiky je vhodné zmínit pár základních parametrů.

Vybrány jsou zde veličiny, které mají pomoci pochopit následující kapitoly. [1–5]

2.1 Impedanční přizpůsobení

Impedanční přizpůsobení je frekvenčně závislý stav, kdy zdroj i zátěž mají stejnou impedanci. V případě impedančního nepřizpůsobení dochází k odrazu části signálu zpět ke zdroji. Proto pro plné využití antény je nutné mít anténu impedančně přizpůsobenou k připojenému vedení. K měření impedančního přizpůsobení se využívá parametr SWR (Standing Wave Ratio) neboli poměr stojatých vln. SWR se udává jako poměr $X:1$, kdy $1:1$ je ideální stav úplného přizpůsobení.

2.2 Elektromagnetické pole antény

Vyzařování rádiových vln z antény je postupný proces, a proto pro potřeby měření dělíme elektromagnetické pole antény na tři oblasti:

1. Blízká reaktanční oblast (Rayleighova)

Pro většinu antén se jedná o oblast do vzdálenosti $R \leq 0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ [m]

A zároveň pro malé antény ($D \ll \lambda$) : $R < \frac{\lambda}{2\pi}$ [m]

2. Blízká zářivá oblast (Fresnelova)

Jedná se o oblast mezi blízkou reaktanční a vzdálenou oblastí antény, kde převládají vyzařované složky.

3. Vzdálená oblast (Fraunhoferova)

Vzdálená oblast je pro většinu antén od vzdálenosti $R > \frac{2D^2}{\lambda}$ [m]

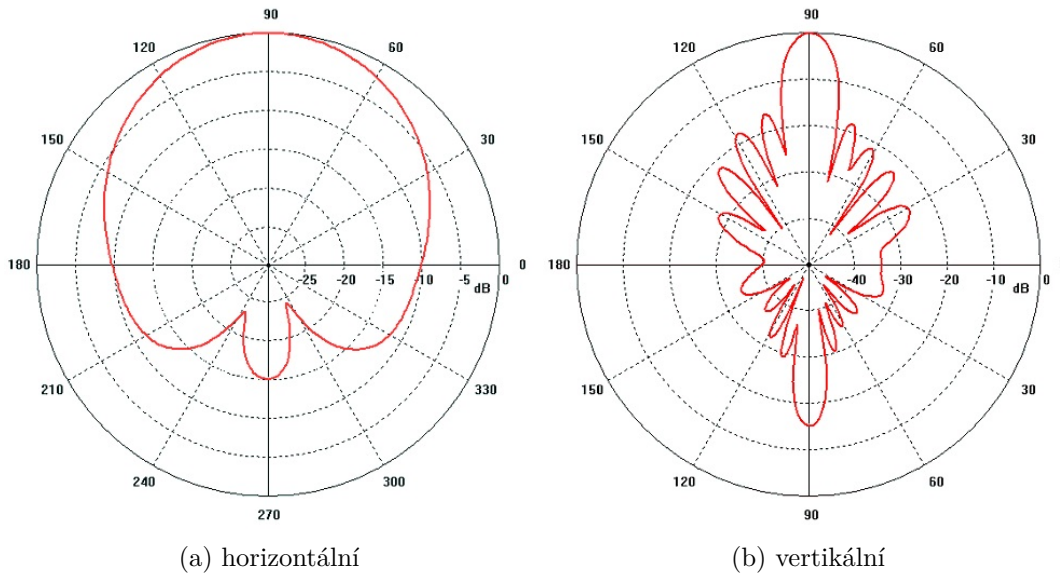
A zároveň pro malé antény ($D \ll \lambda$) : $R > 3\lambda$ [m]

2.3 Směrovost antény

Směrovost je poměr intenzity vyzařování antény v daném směru k intenzitě vyzařování referenční antény. Zjednodušeně se jedná o vlastnost antény soustředit energii do určitého směru se záměrem zvětšení zisku antény. Jako referenční anténa se zde nejčastěji používá izotropický zářič. Lze však použít i jiné referenční antény, ale pak je nutné uvést typ antény a danou směrovost přepočítat. Například při použití půlvlnného dipólu se musí při přepočtu odečíst 2,15 dB.

2.4 Směrový diagram

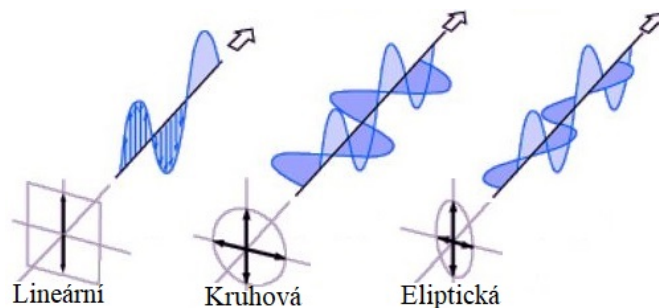
Pro grafické zobrazení směrovosti antény se využívá tzv. směrový a vyzařovací diagram. Protože většina antén má shodný vyzařovací i směrový diagram, používá se pak pouze jeden z nich. Směrová charakteristika (diagram) se zobrazuje jako 3D model nebo pomocí dvou grafů horizontální a vertikální roviny. Zajímavostí takových grafů je, že jsou hodnoty normované k 0dB a nelze tak z grafu zjistit celkový zisk antény. Naopak výhodou grafu je jeho přehlednost poklesu zisku v závislosti na směru, jak jde vidět na Obrázku 2.1.



Obrázek 2.1: Vyzařovací diagram v horizontální a vertikální rovině [6]

2.5 Polarita antény

Polarizace antény je rovina, ve které anténa vysílá a přijímá signál. Polarizace rozdělujeme na lineární, kruhové a eliptické. Nejčastější typ polarizace je lineární, kdy anténa pracuje v horizontální nebo vertikální rovině. Rozdílným případem je eliptická a kruhová polarizace, u které se vysílá signál ve dvou kolmých rovinách, přičemž v jedné rovině s fázovým posunem o 90° .



Obrázek 2.2: Polarizace antény [7]

3 Bezodrazové stěny a komory

Počátky bezodrazových komor se datují až do třicátých let minulého století. Jejich poptávka za účelem testování vojenské rádiové techniky vznikla po vypuknutí druhé světové války. [8]

I dnešní komory z nich stále principiálně vychází, ale nyní disponují efektivnějšími absorpčními materiály. Jelikož jsou tyto komory a jejich zařízení finančně náročné není jich v České republice mnoho. Za zmínku stojí například:

- Elektrotechnický zkušební ústav - Praha
- České vysoké učení technické - Praha
- Vysoké učení technické - Brno
- Vojenský technický ústav - Vyškov
- Era - Pardubice
- Honeywell - Brno
- Abegu - Desná (Liberecký kraj)
- Ramet - Kunovice (Zlínský kraj)

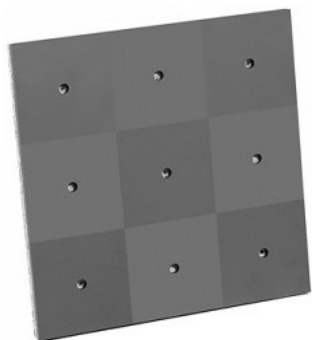
3.1 Absorpční panel

Absorpční panely slouží k pohlcení a potlačení odrazu elektromagnetických vln.

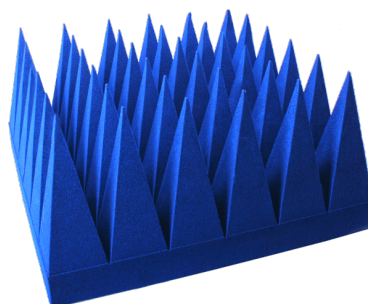
Tyto panely se dělí na dva základní typy podle jejich principu potlačení nežádoucího záření.

Prvním případem jsou rezonanční panely a jejich zástupce je feritový panel na Obrázku 3.1a.

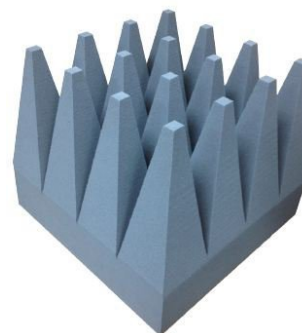
Druhou možností jsou širokopásmové panely, dnes používané hlavně pyramidový a hybridní absorbér je zobrazen na Obrázku 3.1b a 3.1c. [9, 10]



(a) Feritový panel [11]



(b) Pyramidový absorbér [9]

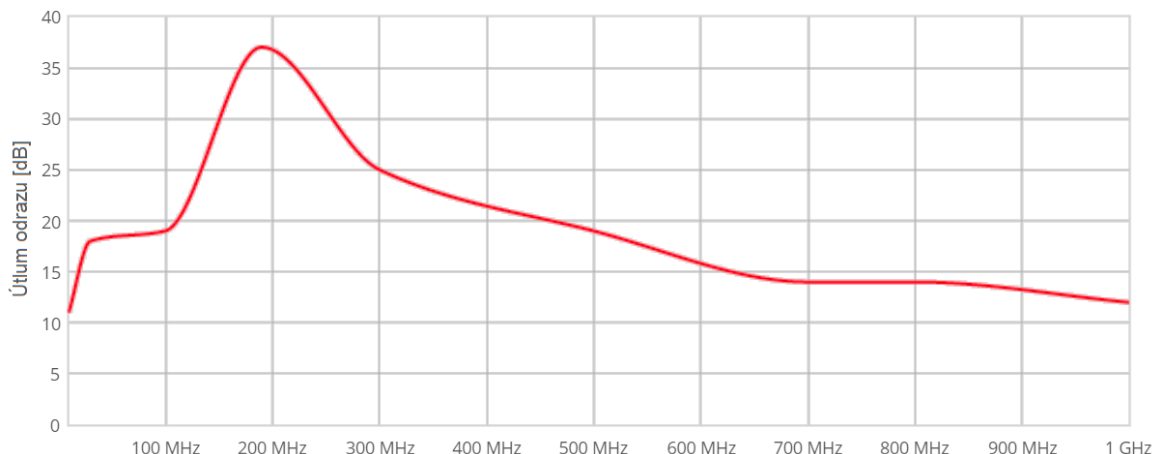


(c) Hybridní absorbér [12]

Obrázek 3.1: Absorpční panely

3.1.1 Feritové panely

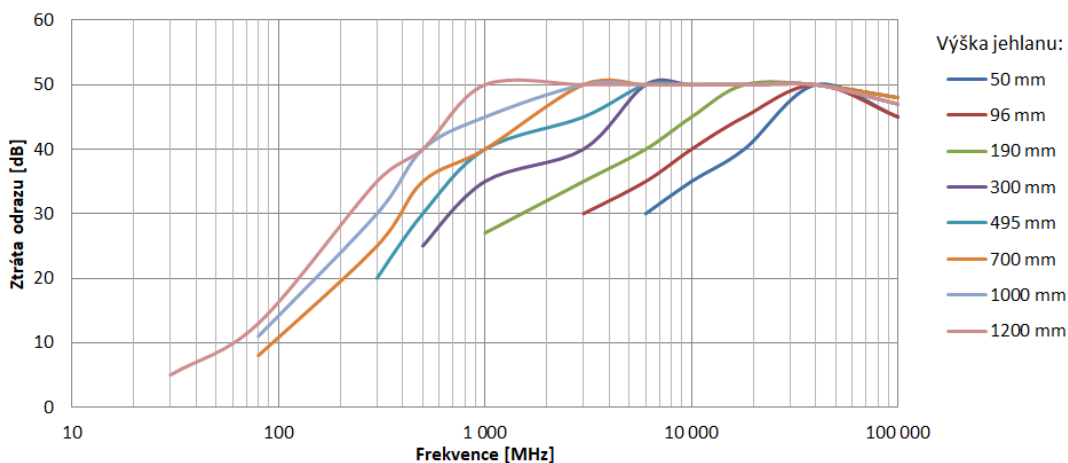
Feritové panely jsou vhodné pro nižší frekvence v rozsahu zhruba od 30 MHz do 1 GHz. Tyto panely jsou charakteristické svou impedancí srovnatelnou s volným prostorem, díky čemu neodráží vyzařovanou energii. Feritové panely mají oproti pyramidovým absorbérům nízký profil. [10] Příkladem je Feritový absorbér 3600 se silou 7 mm a jeho frekvenční závislostí na Obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Feritový absorbér 3600 [9]

3.1.2 Pyramidové absorbéry

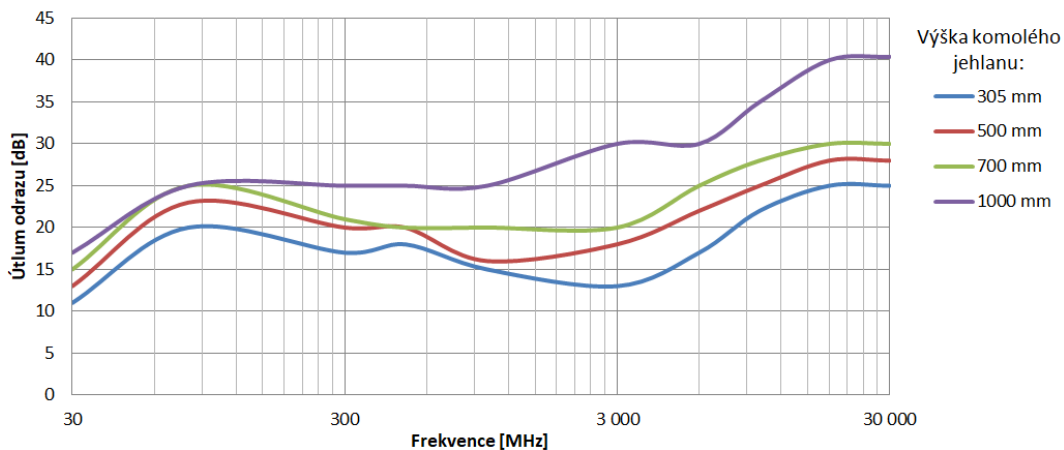
Pyramidové absorbéry fungují oproti feritovým panelům i na vyšších frekvencích. Jejich slabinou jsou však nízké kmitočty, které jsou limitované potřebnými rozměry absorbérů. Obecně lze říct, že se pohybují v rozsahu od 1 GHz do 100 GHz. Materiálem je speciální pěnová pryž ve tvaru jehlanu (pyramidy) pro minimalizování odrazu. Absorpční parametry jsou zde závislé na velikosti profilu absorbérů a operované frekvenci. Příklad takové závislosti je patrný na Obrázku 3.3. [10]



Obrázek 3.3: Pyramidový absorbér 3640 [9]

3.1.3 Hybridní absorbéry

Sladěním impedance pyramidových absorbérů s feritovými panely, lze po spojení vytvořit tzv. hybridní absorbéry. Tyto hybridní absorbéry, díky tomu využívají výhod obou a fungují zhruba v rozsahu od 20 MHz do 40 GHz. [10]



Obrázek 3.4: Hybridní absorbér 3660 [9]

3.2 Bezodrazové komory

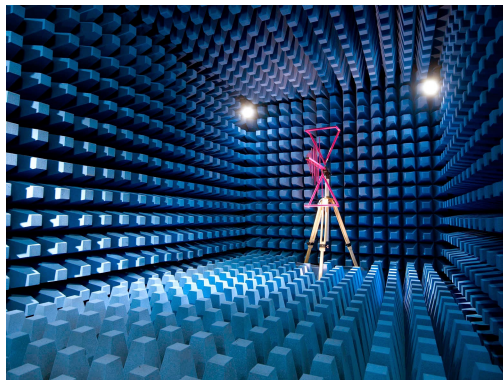
Hlavní výhodou bezodrazových komor je kontrolované klimatické prostředí a zmenšení potřebných prostor do rozmezí řádově jedné velké místnosti. Naopak nevýhodou je cena absorpčních panelů rostoucí s velikostí komory. Bezodrazové komory lze rozdělit na dva typy, částečně bezodrazové komory a plně bezodrazové komory.

3.2.1 Částečně bezodrazové komory

Částečně bezodrazové komory mají pokryté stěny a strop absorpčními panely pro minimalizování odrazů a zároveň jako odstínění od okolního rušení. Hlavní důvod použití těchto komor je lepší simulování venkovního prostředí, díky odrazům od podlahy místnosti a samozřejmě ušetření absorpčních materiálů podlahy.

3.2.2 Plně bezodrazové komory

Plně bezodrazové komory mají na rozdíl oproti částečným pokrytou podlahu absorpčními panely. Tyto komory jsou podstatně cenově dražší, ale zajišťují tak maximální potlačení odrazů. Příklad takové komory můžeme vidět na Obrázku 3.5.



Obrázek 3.5: Bezodrazová komora [13]

3.3 Mobilní měřicí buňky

Jako první mobilní měřicí zařízení lze vzít do úvahy GTEM buňky (zařízení pro vysokofrekvenční testování). GTEM buňky oproti výše uvedeným komorám jdou relativně jednoduše přemístit na jiné místo dle potřeby. Nevýhodou je však omezení pro použití pouze na malé antény. [14]

S rozvojem rádiové techniky jsou kladeny i větší nároky na mobilitu a automatizaci měření. Dále hlavně ve větších městech je potřeba z finančního hlediska měřicí pracoviště co nejvíce zmenšit. Proto v posledních letech přišli výrobci s novinkou v podobě mobilních měřicích přístrojů. Na Obrázku 3.6 jdou vidět dva nejnovější z nich. [15, 16]



Obrázek 3.6: Více sondové multifunkční měřicí zařízení [16]

4 Metody pro měření charakteristiky antény

Následující část se bude zabývat měřicími metodami v bezodrazových komorách.

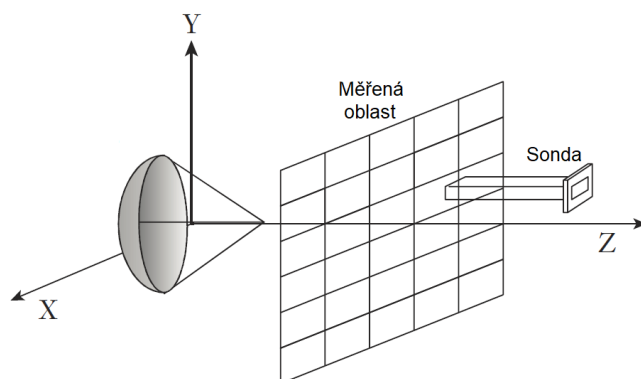
Pro přehlednost jsou tyto metody rozdělené podle měřené oblasti antény.

4.1 Měření v blízké oblasti antény

Pro měření blízkého pole antény jsou základním prvkem sondy. Tyto sondy musí být dostatečně malé, aby zásadně neovlivňovaly měřenou anténu. Výhodou těchto měření je úplná charakteristika antény, vysoká přesnost a rychlost měření. Obecně nevýhodou je, že se nedostane z měření přímo vyzařovací diagram. Využívá se zde matematických technik pro korekci měřených dat na vliv sondy a převedení upravených dat blízké pole antény na vzdálené. [1, 17]

4.1.1 Rovinné snímání

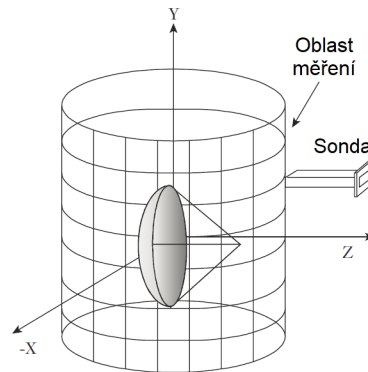
Rovinné snímání je vhodné pro úzce směrové antény s velkým ziskem. Příkladem těchto antén jsou reflektorové a sektorové antény. Naopak tato metoda nelze použít pro antény jako je půlvlnný dipól, protože velká část energie by byla vyzařována mimo oblast měření. Tyto měření jsou oproti ostatním metodám velmi rychlá, díky relativně malé oblasti měření. [1, 18]



Obrázek 4.1: Rovinné snímání [17]

4.1.2 Válcové snímání

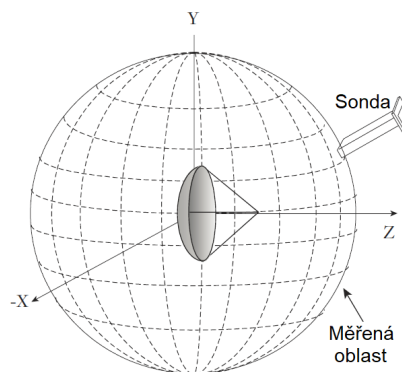
Válcové snímání je vhodné pro dlouhé antény s všesměrovým vyzařováním soustředěným do jedné roviny. Tato metoda není vhodná pro antény, které vyzařují přímo vzhůru nebo dolů, kde sonda nesnímá. Válcové snímání je vhodné například pro vějířové nebo parabolické antény. [18]



Obrázek 4.2: Válcové snímání [17]

4.1.3 Kulové snímání

Poslední metodou snímání blízkého pole je kulové neboli sférické snímání. Tato metoda je vhodná pro všechny antény nezávisle na vyzařovací charakteristice antény. Nevýhodou je velká měřená oblast s potřebou odměřit velké množství dat pro dosažení určité přesnosti.



Obrázek 4.3: Kulové snímání [17]

4.2 Měření ve vzdálené oblasti antény

Zde jsou představeny čtyři nejpoužívanější metody měření vzdáleného pole seřazené od jednodušších po složitější. Tyto měření jsou oproti předchozím časově náročnější, ale zato zde není potřeba složitě měřená data zpracovávat. Požadované vyzařovací(směrové) charakteristiky se získají přímo z naměřených dat jako funkci úhlu.

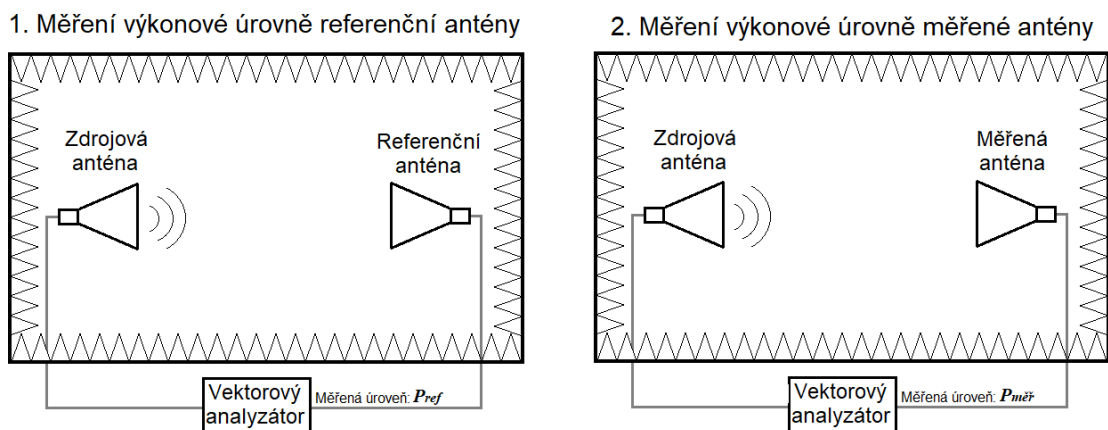
Pro zjednodušení následujících metod se využilo několika předpokladů:

- Antény jsou od sebe ve vzdálenosti minimálně $R > \frac{2D^2}{\lambda}$ [m]
- Antény jsou ve výchozím stavu nasměřovány přesně naproti sebe
- Antény jsou správně a stejně polarizovány
- Je zajištěno minimalizování okolního rušení
- Zdroj měřeného signálu je frekvenčně stabilní
- Odrazy signálu jsou minimalizovány

4.2.1 Porovnávací metoda

Jedná se o nejjednodušší metodu měření. Myšlenka určení zisku měřené antény spočívá v prostém porovnání přijímaných výkonových úrovní dvou antén. V této metodě se používají tři antény, zdrojová, referenční a měřená. Přičemž u referenční antény je potřeba znát její zisk G_{ref} [dB]. Měření se pak provádí následovně. V prvním kroku se změří referenční výkonová úroveň P_{ref} . Poté se zamění referenční anténa s měřenou a zopakuje se měření pro výkonovou úroveň měřené antény $P_{měř}$. V posledním kroku se hodnoty porovnají a podle vzorce 4.1 se vypočte požadovaný zisk G měřené antény. [4]

$$G = (P_{měř} - P_{ref}) + G_{ref} \quad [dB] \quad (4.1)$$

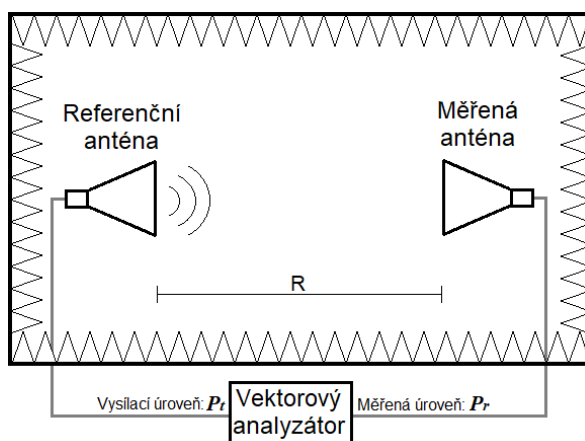


Obrázek 4.4: Porovnávací metoda

4.2.2 Metoda dvou antén

Metoda dvou antén využívá Friisovu přenosovou rovnici. Tato metoda se používá ve dvou variantách. V obou případech vycházíme z předpokladu, že je známa vzdálenost mezi anténami. První použití je měření zisku G neznámé antény, s využitím vzorce 4.2, s použitím referenční antény se známým ziskem G_R . [19]

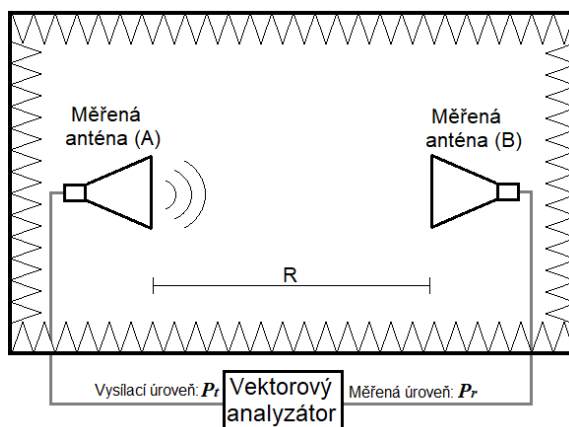
$$G = P_r - P_t - G_R - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad [dB] \quad (4.2)$$



Obrázek 4.5: Metoda dvou antén

Pokud jsou k dispozici dvě stejné antény, lze využít vzorce 4.3 založeného na principu polovičního zisku. [1]

$$G_t = G_r = \frac{1}{2} \left[P_r - P_t - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \right] \quad [dB] \quad (4.3)$$



Obrázek 4.6: Metoda polovičního zisku

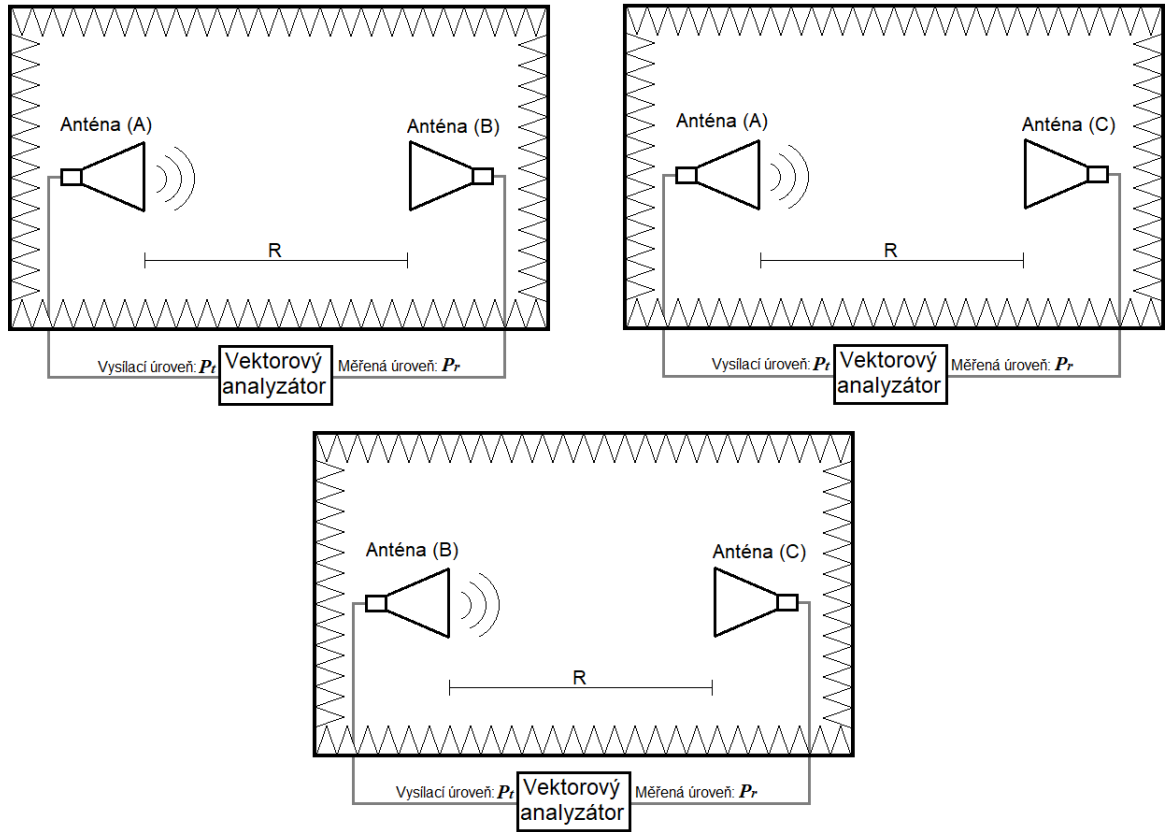
4.2.3 Metoda tří antén

Pokud není znám zisk žádné z antén a nelze použít ani dvě identické antény, využije se metoda tří antén. Tato metoda funguje na principu změření všech tří kombinací dvojic antén. Při měření se zapisují vždy vysílací a přijímací výkony, které jsou poté dosazeny do rovnic. Po odměření všech kombinací se už jednoduše ze soustav rovnic vypočtou jednotlivé výkony antén. [1, 19]

$$G_A + G_B = P_r^{A \rightarrow B} - P_t^{A \rightarrow B} - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad [dB] \quad (4.4)$$

$$G_A + G_C = P_r^{A \rightarrow C} - P_t^{A \rightarrow C} - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad [dB] \quad (4.5)$$

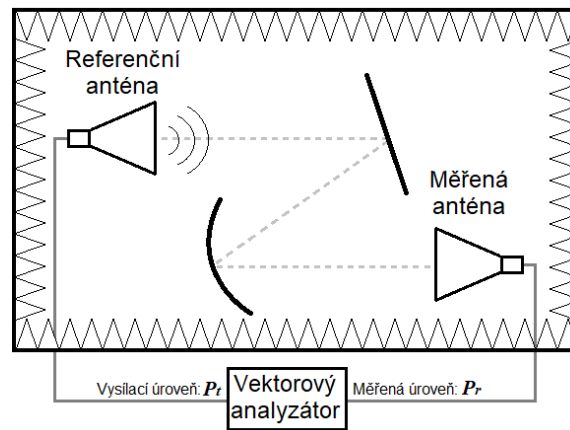
$$G_B + G_C = P_r^{B \rightarrow C} - P_t^{B \rightarrow C} - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad [dB] \quad (4.6)$$



Obrázek 4.7: Metoda tří antén

4.2.4 Kompaktní měření

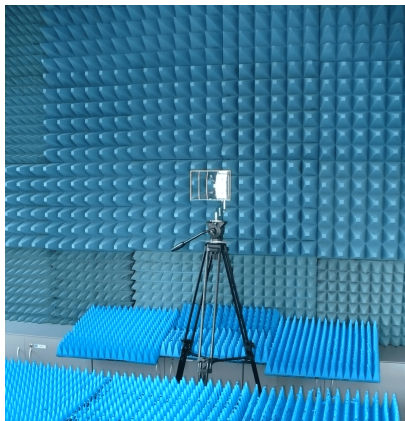
Kompaktní metoda je vhodná pro měření rozměrných antén. Výhodou kompaktního měření je menší prostorová náročnost při zachování výhod měření vzdáleného pole. Naproti tomu nevýhodou je, že se musí použít jeden nebo více speciálních reflektorů a s tím související náročnost na přesnost nastavení. Ilustrativní příklad této metody je vidět na Obrázku 4.8. [17,18]



Obrázek 4.8: Kompaktní měření

5 Návrh měřicí úlohy ověřující směrovost antény

K vytvoření měřicí úlohy je využita bezodrazová stěna pro měření vlastností antén laboratoře rádiových sítí Obrázek: 5.1. Stěna je tvořena absorpčními panely EHP-12 PCL s povrchovou úpravou FrexSorb společnosti ETS-Lindgren s katalogovým listem v Příloze B.



Obrázek 5.1: Bezodrazová stěna

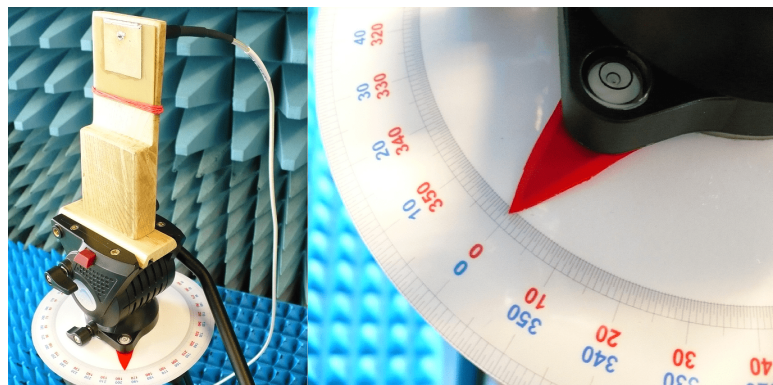
Pro úlohu v Příloze F jsem vytvořil následující zadání:

„Určete směrovou charakteristiku měřené antény pro zadaný kmitočet. Pokud kmitočet není zadán, zjistěte na jakou frekvenci je anténa přizpůsobena a použijte ji pro měření. Měření horizontální směrové charakteristiky proveďte v rozsahu $\pm 90^\circ$ s rozestupem po dvou stupních. Z měřených hodnot určete zisk měřené antény, šířku hlavního laloku (při poklesu na poloviční výkon) a sestrojte graf.“

Úloha se obecně skládá z následujícího postupu:

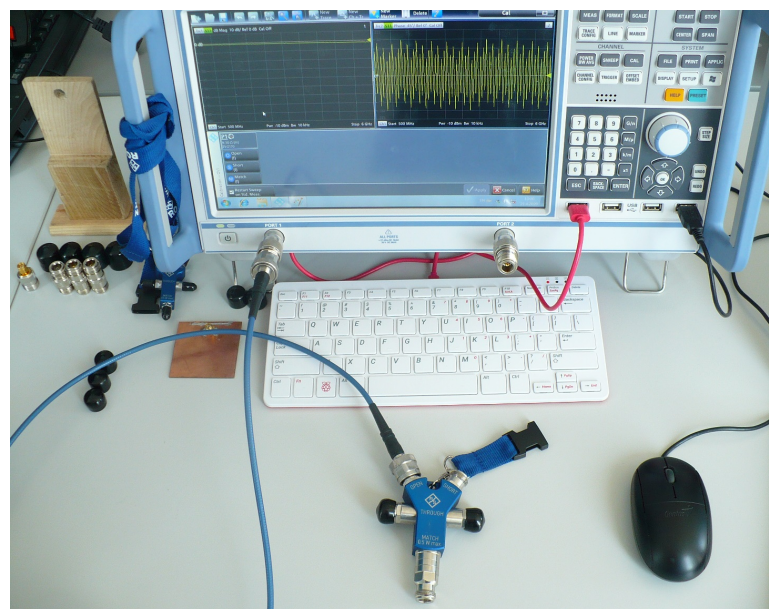
1. Určení vhodného kmitočtu
2. Příprava měřicího pracoviště
3. Kalibrace a nastavení měřicího přístroje
4. Změření výkonových úrovní pro potřebné výchylky antén
5. Přepočítání naměřených hodnot
6. Tvorba grafu směrové charakteristiky měřené antény
7. Vyhodnocení

Aby byla úloha proveditelná bylo potřeba k úloze vyrobit modul uchycení mikropáskové antény a navrhnout měřicí osu výchylky antén na stativy. Pro úlohu se tedy vytvořila z laminovaného papíru měřicí dvojité osa. Měřicí osa s ručičkou a modul jde vidět na Obrázku 5.2:



Obrázek 5.2: Měřicí modul a osa výchylky

Jako měřicí přístroj se zvolil vektorový obvodový analyzátor (zkráceně VNA) od společnosti Rohde & Schwarz ZND8. Vektorový analyzátor byl vybrán kvůli jeho parametrům a vlastnostem. Zde je nutné zmínit možnost kalibrace a funkci časové brány. Kalibrace přístroje, ukázka na Obrázku: 5.3, slouží k potlačení vlivu propojovacích kabelů a zpřesnění měření. Druhou důležitou vlastností přístroje je funkce časové brány. Časová brána je funkce, kdy VNA měří pouze v nastaveném časovém úseku. Tato funkce tudíž minimalizuje vliv odrazů v místnosti a stabilizuje naměřené hodnoty. Například při měření je patrná až desetinásobně přesnější (stabilnější) naměřená hodnota při použití časové brány než při měření bez ní.



Obrázek 5.3: VNA - ukázka kalibrace

6 Návod pro měření směrové charakteristiky antén

Vektorový analyzátor R&S ZND8 je pokročilý měřicí přístroj disponující rozsáhlým nastavením. Proto bylo potřeba sepsat jednoduchý návod nastavení VNA pro účely měření směrové charakteristiky (Příloha E). Tento návod obsahuje kompletní postup pro nastavení a odměření směrové charakteristiky včetně nejpoužívanějších metod měření a výpočtu. Návod je určen pro laboratorní úlohu (Příloha F), ale i pro studenty, kteří si potřebují odměřit sestavené antény. Návod je rozdělen do několika chronologicky seřazených kapitol:

1. Frekvenční rozsah antény
2. Nastavení vektorového analyzátoru pro měření výkonové úrovně
3. Měření směrové charakteristiky antény

6.1 Frekvenční rozsah antény

Pokud je potřeba měřit neznámou nebo nově vyrobenou anténu je nutné v prvním kroku ověřit impedanční přizpůsobení antény pro daný kmitočet. Tato část návodu se zabývá pouze jednoduchým změřením parametru SWR antény, a hledání vhodného pracovního kmitočtu. Součástí první části návodu je i kalibrace přístroje pro měření SWR a nastavení ukazatelů pro odečítání naměřených hodnot.

6.2 Nastavení vektorového analyzátoru pro měření výkonové úrovně

Druhá část návodu se zaměřuje na nastavení a kalibraci VNA pro měření směrové charakteristiky antény. V návodu jsou zmíněné dvě nejčastější možnosti nastavení vysílací frekvence včetně jejich výhod. Dále je zde popsána funkce časové brány včetně výpočtu nastavovaného parametru.

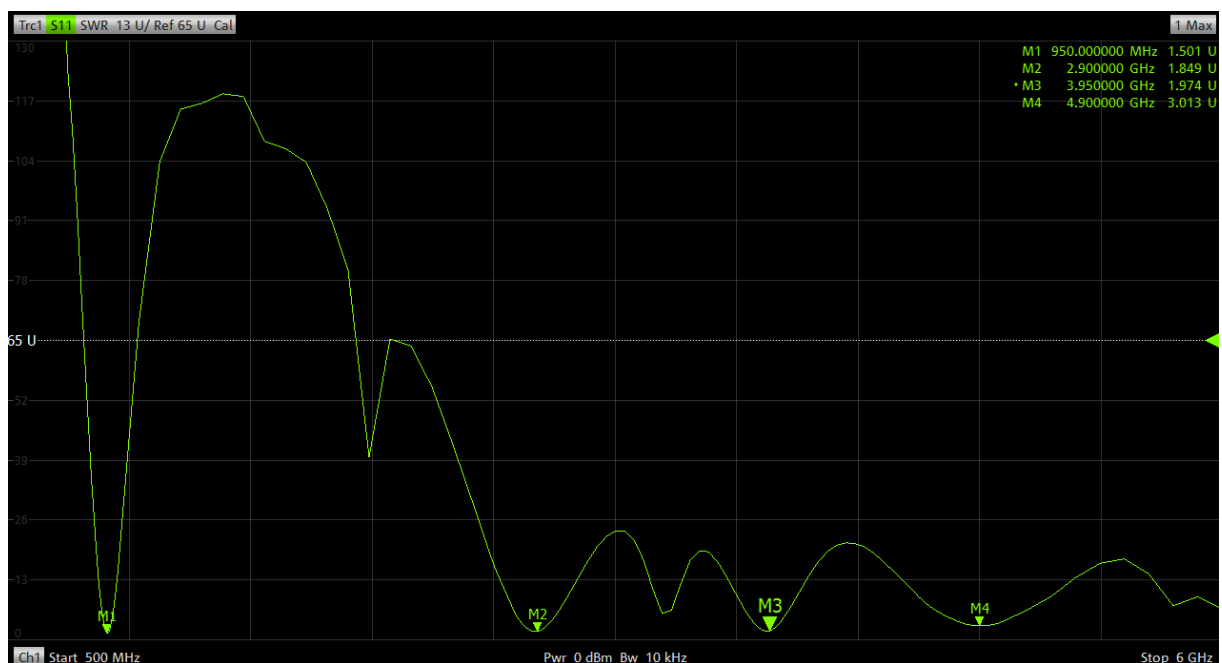
6.3 Měření směrové charakteristiky antény

Poslední část se zabývá správným umístěním antény a nastavením osy. Jsou zde dále popsány nejpoužívanější měřicí metody včetně vzorců pro výpočet.

7 Ověření navržené úlohy za pomoci vybraných antén

Pro ověření laboratorní úlohy (Příloha G) jsou využity antény DRH370_170610A370, DRH10_181001A10 a mikropásková anténa. První dvě antény jsou zvoleny z důvodu ověření měřící metodiky. Mikropásková anténa je vybrána, protože se jedná o klasický příklad antény vyrobené studentem.

V prvním kroku úlohy bylo potřeba zjistit na jaký kmitočet je mikropásková anténa navržena. Z naměřeného grafu 7.1 bylo zjištěno, že je anténa zkonstruovaná pro kmitočet 950 MHz, pro který se provede měření směrové charakteristiky. Poté co je znám kmitočet mikropáskové antény, se z katalogů C a D ověřila použitelnost zbylých dvou antén.



Obrázek 7.1: Měření SWR mikropáskové antény

Navržená úloha je odměřena dle návodu, čímž se ověřila správnost měřící metody. Srovnání výsledných hodnot s katalogovými hodnotami (příloha C a D) je v tabulce 7.2.

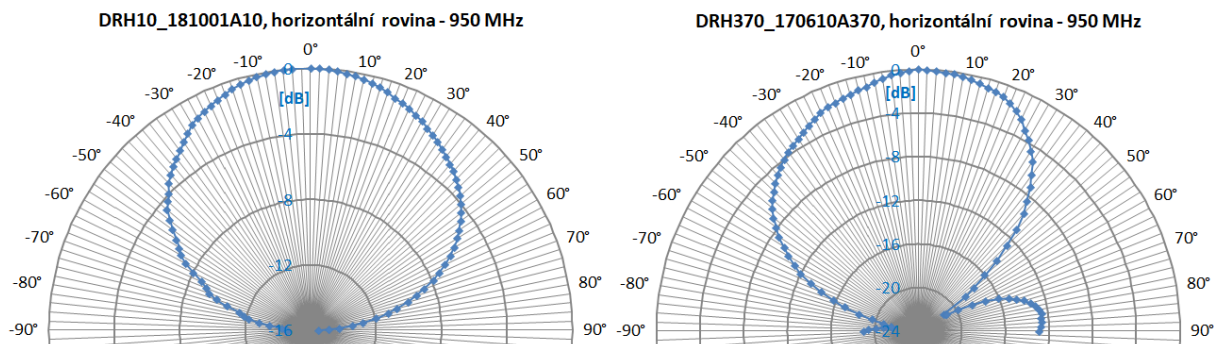
f = 950 MHz	DRH370_170610A370	DRH10_181001A10
Naměřený zisk	9,05 dB	6, 53 dB
Údaje výrobce	9 dB	6,4 dB

Obrázek 7.2: Srovnání naměřených a katalogových zisků antén

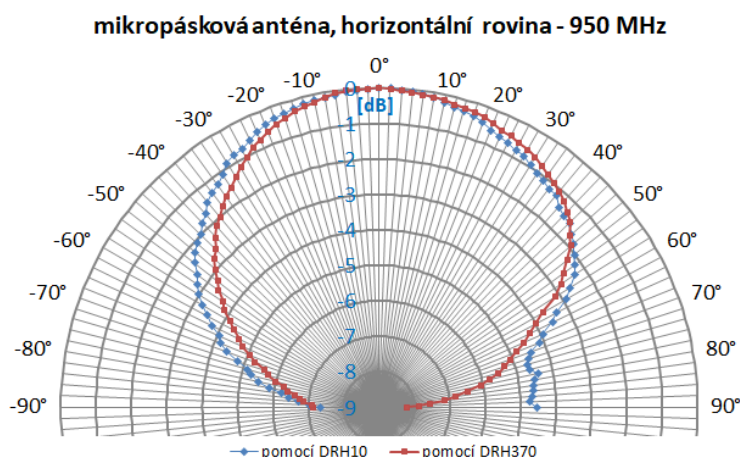
Součástí úlohy bylo i měření šířky hlavního laloku (při poklesu na poloviční výkon). Výrobce antén pro tento parametr uvedl pouze graf. A proto, jak je z tabulky 7.3 patrné, není srovnání přesné a plní pouze funkci informačního charakteru.

f = 950 MHz	DRH370_170610A370	DRH10_181001A10	mikropásková anténa
Naměřená šířka	54°	82°	116°
Údaje výrobce	~ 60°	~ 80°	-

Obrázek 7.3: Šířka hlavního laloku (při poklesu na poloviční výkon)



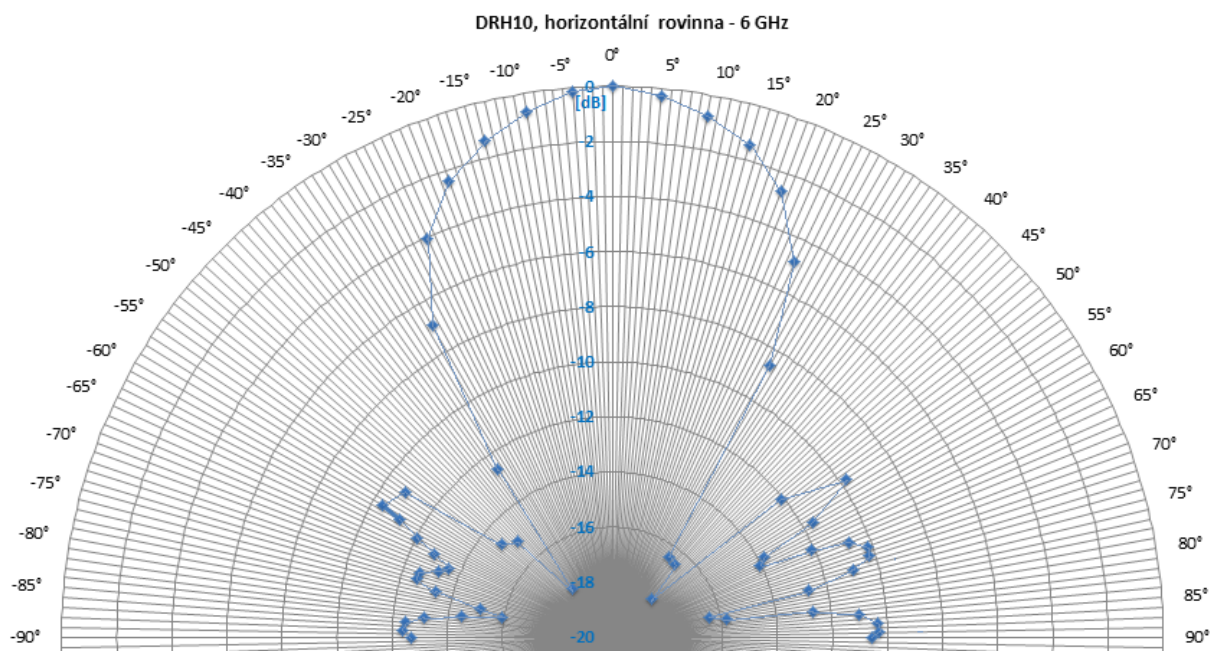
Obrázek 7.4: Směrové charakteristiky antény DRH10 a DRH370



Obrázek 7.5: Směrová charakteristika mikropáskové antény

Výstupem laboratorní úlohy je tabulka zisků a směrové charakteristiky měřených antén vyobrazené na Obrázku 7.4 a 7.5. Pro měření směrových charakteristik je vybrána právě úloha (Příloha G) jako vzorová ze dvou důvodů. Za prvé z naměřených hodnot je patrné, že i s použitím laserového ukazovátka není možné nastavit spolehlivě 0° výchylku. Tudíž nelze přesně měřit směr hlavního laloku. Druhým důvodem je znehodnocení části směrové charakteristiky odrazy od okolí. Na Obrázku 7.5 je patrný tento případ pro úhel 70° až 90° s vysílací anténou DRH10. U antény DHR370 k odrazu nedošlo, protože má oproti DRH10 užší vyzařovací charakteristiku. V úloze se tím potvrdilo, že je lepší provádět měření opakovaně a pomocí různých referenčních antén.

Laboratorní úlohu je dále možné dle potřeb přizpůsobit. Například pro zjednodušení měření je lepší použít vyšší frekvence. Pro zrychlení měření lze využít měření s větším úhlovým skokem nebo nerovnoměrným úhlovým skokem. Příklad takové směrové charakteristiky je na Obrázku 7.6 měřený metodou polovičního zisku z přílohy H.



Obrázek 7.6: Směrová charakteristika - $f = 6GHz$

8 Návrh automatizace měření

Vzhledem k tomu, že je měření směrové charakteristiky časově náročné, považuji za vhodné tento problém zmínit včetně návrhu řešení. Protože zásadní problém vidím v ručním nastavování výchylky antény, vytvořil jsem prototyp rotačního zařízení (Obrázek 8.1).



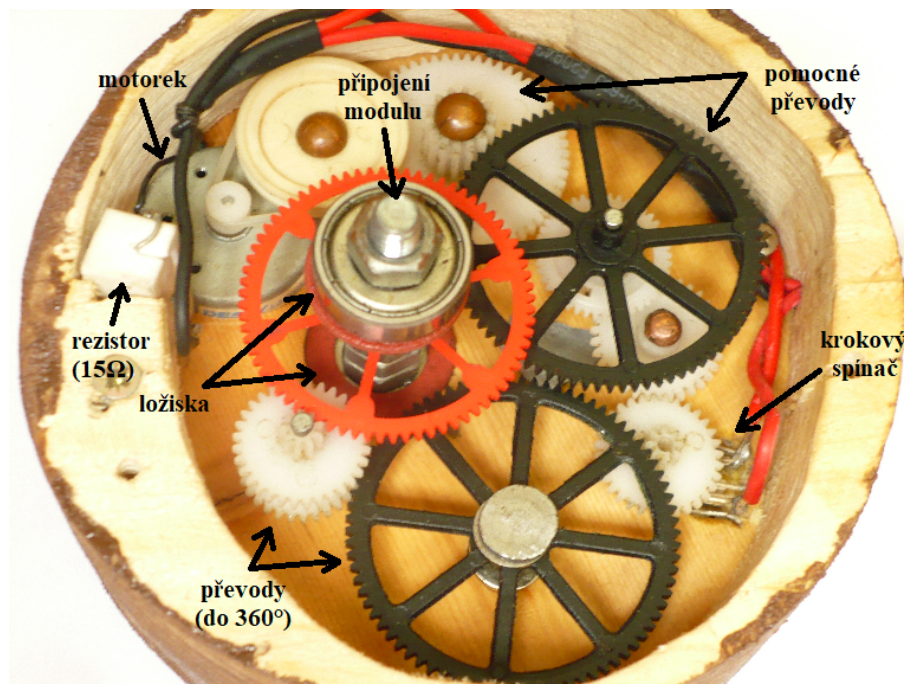
Obrázek 8.1: Prototyp rotačního zařízení

8.1 Konstrukce prototypu

Zkonstruovaný prototyp zobrazený na Obrázku 8.1 je tvořený ze tří částí. Ovladače, který dává pokyn k posunu o 1° vpřed nebo vzad podle přepínače. Rotačního zařízení připojeného pomocí 4m dlouhého kabelu k ovladači s 9V baterií. A vyměnitelného modulu umístěného na rotačním zařízení.

Jak je vidět z Obrázku 8.2, samotné rotační zařízení pohání motorek napájený z ovladače. Motorek roztáčí pomocné převody, které zpomalují otáčky a zvyšují sílu motorku. Pomocné převody jsou dále připojeny na krokový spínač demontovaný z počítačové myši. Krokový spínač má 24 stavů, kdy pravidelně spíná a rozepíná obvod. Spínač je dále napojený na ozubené převody, které převedou sepnuté stavy vždy na 1° posun.

Výsledné chování je, že ovladač spíná motorek a roztáčí pomocné převody. Rotační zařízení se začne pomalu otáčet. Poté co se ovladač přestane spínat se krokový spínač posune až do rozepnutého stavu a tím se zastaví na celém stupni.



Obrázek 8.2: Konstrukce rotačního zařízení

8.2 Testování prototypu

Pro ověření krokování po 1° jsem udělal na rotačním zařízení značku a $360x$ provedl na ovladači posunutí o jeden krok. Tím, že se zařízení dostalo do původního bodu jsem ověřil, že zařízení krokuje opravdu po 1° . Dále jsem se pokoušel provést měření s anténou. Zde nastal problém, kdy při větším tlaku docházelo k přeskočení zubu u nedostatečně pevně uchyceného ozubeného převodu v zařízení. Další nevýhodou je, že zařízení nemá indikaci aktuální výchylky antény, což by spolu s ovládáním mohl vyřešit naprogramovaný mikrokontrolér.

Vyrobený prototyp může sloužit jako inspirace pro nové téma bakalářské práce. Práce by se mohla zabývat automatizací měření a konstrukcí rotačního zařízení ovládaného například pomocí mikrokontroléru.

9 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření laboratorní úlohy ověřující směrovost antény s použitím bezodrazové stěny laboratoře rádiových sítí. Součástí práce má být uvedení čtenáře do problematiky měření parametrů antén v bezodrazové komoře se zaměřením na směrovou charakteristiku. Výstupem práce je ověření laboratorní úlohy na vybraných vzorcích antén dle vytvořeného návodu pro nastavení zmíněného vektorového analyzátoru.

V teoretické části jsou nejprve vysvětleny vybrané parametry antén. Poté následuje kapitola popisující nejpoužívanější typy absorpčních panelů včetně jejich vlastností a parametrů. Téma je dále rozvedeno o absorpční komory a mobilní měřicí stanice. Poslední teoretická kapitola následně popisuje metodiky měření antén v blízké a vzdálené oblasti antény. Práce je zde zaměřena hlavně na metody měření ve vzdálené oblasti, včetně vzorců pro výpočet použitých následně v praktické části práce.

Praktická část práce zahrnuje několik dílčích oblastí. V prvním kroku je navržena laboratorní úloha ověřující směrovost antény s použitím bezodrazové stěny. Pro tuto úlohu byl vybrán vektorový obvodový analyzátor Rohde & Schwarz ZND8, který se svými parametry nejlépe hodí pro danou úlohu. Aby byla daná úloha proveditelná jsou vyrobeny měřicí osy ke stativům antén a modul k uchycení mikropáskové antény. Následně se sepsal návod pro nastavení zmíněného vektorového analyzátoru včetně postupu měření a základních vzorců. Poté se dle návodu odměřila navržená laboratorní úloha a potvrdila se měřením její použitelnost.

Poslední kapitola zmiňuje možnost automatizace měření pomocí rotačního zařízení. Je zde popsán zkonstruovaný prototyp, který by mohl sloužit, jako inspirace pro zadání bakalářské práce.

Literatura

- [1] BALANIS, Constantine A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3rd Edition. England: Wiley-Interscience, April 4, 2005. ISBN 978-0471667827.
- [2] MAZÁNEK, Miloš, Jaroslav VOKURKA a Pavel PECHAČ. *Antény a šíření vln*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01855-5.
- [3] Chang, Kai. *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering, Volumes 1 - 6*. John Wiley & Sons. 2005, 225-300. ISBN 978-0-471-27053-9. Dostupné také z: <<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpERFMEV04/encyclopedia-rf-microwave/encyclopedia-rf-microwave>>
- [4] Christodoulou, Christos G. Wahid, Parveen F. *Fundamentals of Antennas - Concepts and Applications*. SPIE. 2001, 13-20. ISBN 978-0-8194-4112-6. Dostupné také z: <<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFACA0001/fundamentals-antennas/fundamentals-antennas>>
- [5] HUANG, Yi a Kevin BOYLE. *Antennas: from theory to practice*. Chichester: Wiley, 2008. ISBN 978-0-470-51028-5.
- [6] *Vyzařovací diagram v horizontální a vertikální rovině* [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <<http://strizkov.wz.cz/sterbinovka/>>
- [7] *Polarizace antény* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <<https://www.electronicsforu.com/resources/learn-electronics/antenna-polarisation>>
- [8] W. Emerson, "Electromagnetic wave absorbers and anechoic chambers through the years," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 21, no. 4, pp. 484-490, July 1973, doi: 10.1109/TAP.1973.1140517. Dostupné také z: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1140517>>
- [9] *EMI a RFID absorbéry, ferity a pyramidy*. Holland Shielding Systems BV [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <<https://hollandshielding.cz/EMI-a-RFID-absorb%C3%A9ry-ferity-a-pyramidy>>
- [10] *RF Absorber*. DJM Electronic [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <<https://www.djmelectronics.com/rf-absorber.html>>
- [11] *Feritový panel* [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <<https://www.compeng.com.au/document-library/flat-ferrite-rf-absorber-sfa-version/>>
- [12] *Bezodrazový absorbér* [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <<http://www.teste.cz/emc-20pcl>>

- [13] *Bezodrazová komora* [online]. [cit. 2018-12-06].
Dostupné z: <<http://www.monoandstereo.com/2015/01/anechoic-versus-bass.html>>
- [14] ŽIVKOVIĆ, Zlatko a Antonio ŠAROLIĆ. *Measurements of Antenna Parameters in GTEM Cell*. JOURNAL OF COMMUNICATIONS SOFTWARE AND SYSTEMS. 2010, 6(4), 125-132. DOI: <http://dx.doi.org/10.24138/jcomss.v6i4.185>. ISSN 1846-6079. Dostupné také z: <<https://jcomss.fesb.unist.hr/index.php/jcomss/article/view/185/163>>
- [15] SIERRA-CASTANER, M. *Review of Recent Advances and Future Challenges in Antenna Measurement*. Applied Computational Electromagnetics Society Journal. 2018, 33(1), 99–102. Dostupné také z: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=127851567&lang=cs&site=ehost-live>>
- [16] ANTENNA MEASUREMENT AND RADOME TEST SYSTEMS [online]. The Microwave Vision Group, 2018 [cit. 2020-01-05]. Dostupné také z: <<https://www.mvg-world.com/en/products?category=Antenna%20Measurement>>
- [17] Blake, Lamont V., Long, Maurice W. *Antennas - Fundamentals, Design, Measurement (3rd Edition)*. SciTech Publishing. 2009, 371-421. ISBN 978-1-891121-78-4. Dostupné také z: <<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAFDME001/antennas-fundamentals/antennas-fundamentals>>
- [18] RODRIGUEZ, Vince. *Basic Rules for Anechoic Chamber Design, Part Two: Compact Ranges and Near Field Measurements*. Microwave Journal. 2016, 59(2), s. 80-80,82,84,86,88,90. ISSN 01926225. Dostupné také z: <<https://search.proquest.com/docview/1769589291>>
- [19] Harish, A.R., Sachidananda, M. *Antennas and Wave Propagation*. Oxford University Press. 2007, 303-329. ISBN 978-0-19-568666-1. Dostupné také z: <<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAWP00001/antennas-wave-propagation/antennas-wave-propagation>>

A Seznam příloh

Seznam tištěných příloh:

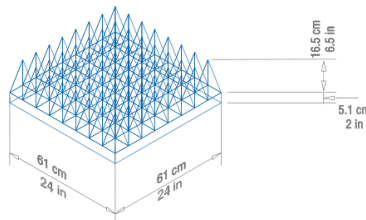
1. Katalogový list absorpčního panelu EHP-12 PCL34 (1 strana)
2. Katalogový list DRH10 (6 stran)
3. Katalogový list DRH370 (5 stran)
4. Návod pro měření (16 stran)
5. Šablona laboratorní úlohy (2 strany)
6. Vzorová laboratorní úloha (7 stran)
7. Měření metodou polovičního zisku (1 strana)

Seznam elektronických příloh (Příloha v IS EDISON):

1. Návod pro měření (soubor **Navod_k_mereni_smerove_charakteristiky.pdf**)
2. Šablona laboratorní úlohy (soubor **Sablona_mereni.docx**)
3. Vzorová laboratorní úloha (soubor **Vzorove_mereni.pdf**)

B Katalogový list absorpčního panelu EHP-12 PCL

EHP-8PCL Microwave Absorber
PYRAMIDAL, HI-PERFORMANCE



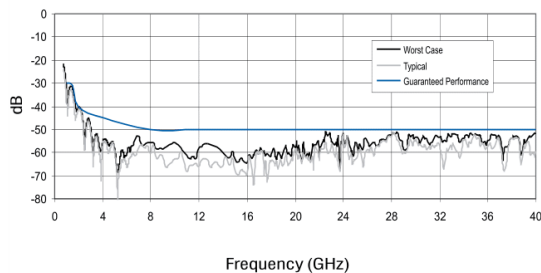
Features

- Numerically Optimized Design
- 200 V/m Power Handling Capability
- Fire Retardant

Physical Specifications

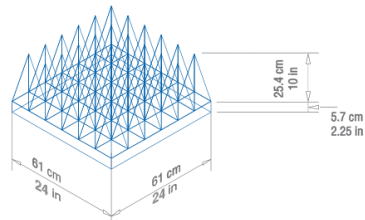
MODEL	EHP-8 PCL
Absorber Footprint	61 cm x 61 cm (24 in x 24 in)
Absorber Height	Overall 21.6 cm (8.5 in)
	Base 5.1 cm (2 in)
	Pyramid 16.5 cm (6.5 in)
Pyramid Base Dimension	7.6 cm x 7.6 cm (3 in x 3 in)
Pyramids per Absorber	64
Weight (1 piece)	2.8 kg (6.25 lb)
Absorbers per Carton	8
Carton Dim. L x W x H	63.5 cm x 63.5 cm x 132 cm (25 in x 25 in x 52 in)

Measured Reflections at Normal Incidence



FREQUENCY/BAND	TYPICAL REFLECTIVITY	GUARANTEED REFLECTIVITY
1-2 GHz L-Band	< -30 dB	-30 dB
2-4 GHz S-Band	< -40 dB	-40 dB
4-8 GHz C-Band	< -52 dB	-45 dB
8-12 GHz X-Band	< -55 dB	-50 dB
12-18 GHz Ku-Band	< -55 dB	-50 dB
18-40 GHz K-Band	< -50 dB	-50 dB

EHP-12PCL Microwave Absorber
PYRAMIDAL, HI-PERFORMANCE



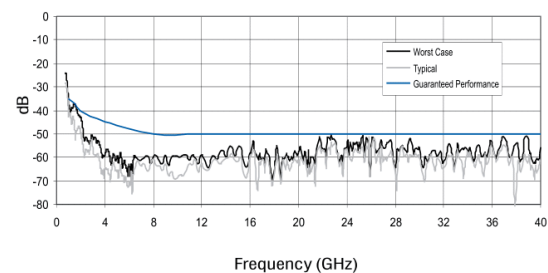
Features

- Numerically Optimized Design
- 200 V/m Power Handling Capability
- Fire Retardant

Physical Specifications

MODEL	EHP-12 PCL
Absorber Footprint	61 cm x 61 cm (24 in x 24 in)
Absorber Height	Overall 31.1 cm (12.25 in)
	Base 5.7 cm (2.25 in)
	Pyramid 25.4 cm (10 in)
Pyramid Base Dimension	10.2 cm x 10.2 cm (4 in x 4 in)
Pyramids per Absorber	36
Weight (1 piece)	3.8 kg (8.4 lb)
Absorbers per Carton	6
Carton Dim. L x W x H	63.5 cm x 63.5 cm x 132 cm (25 in x 25 in x 52 in)

Measured Reflections at Normal Incidence



FREQUENCY/BAND	TYPICAL REFLECTIVITY	GUARANTEED REFLECTIVITY
1-2 GHz L-Band	< -35 dB	-35 dB
2-4 GHz S-Band	< -45 dB	-40 dB
4-8 GHz C-Band	< -55 dB	-45 dB
8-12 GHz X-Band	< -55 dB	-50 dB
12-18 GHz Ku-Band	< -55 dB	-50 dB
18-40 GHz K-Band	< -50 dB	-50 dB

USA:
Tel +1.512.531.6400
Fax +1.512.531.6500

FINLAND:
Tel +358.2.8383.300
Fax +358.2.8651.233

UK:
Tel +44.(0)1438.730700
Fax +44.(0)1438.730751

FRANCE:
Tel +33.1.48.65.34.03
Fax +33.1.48.65.43.69

JAPAN:
Tel +81.3.3813.7100
Fax +81.3.3813.8068

CHINA:
Tel +8610.8275.5086
Fax +8610.8275.5537

ONLINE:
info@ets-lindgren.com
www.ets-lindgren.com

C Katalogový list DRH10

spin

Antenna Specifications

February 2011

Double Ridged Waveguide Horn – Model DRH10

Electrical Specifications

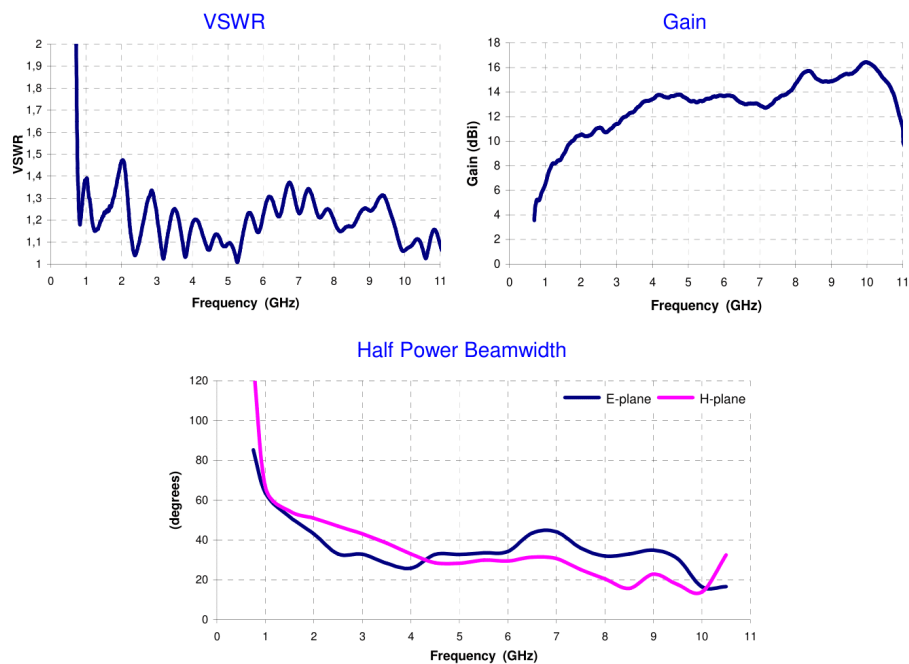
Frequency Range	740 MHz – 10.5 GHz
VSWR (max.)	< 1.8:1
Impedance	50 Ω
Connector	N _{female}
Power (CW / Pulse)	100 W / 200 W

Physical Specifications

Width	204 mm (8.03 in)
Depth	242 mm (9.53 in)
Height	148 mm (5.83 in)
Weight	1.24 kg (2.73 lb)



Typical Parameters

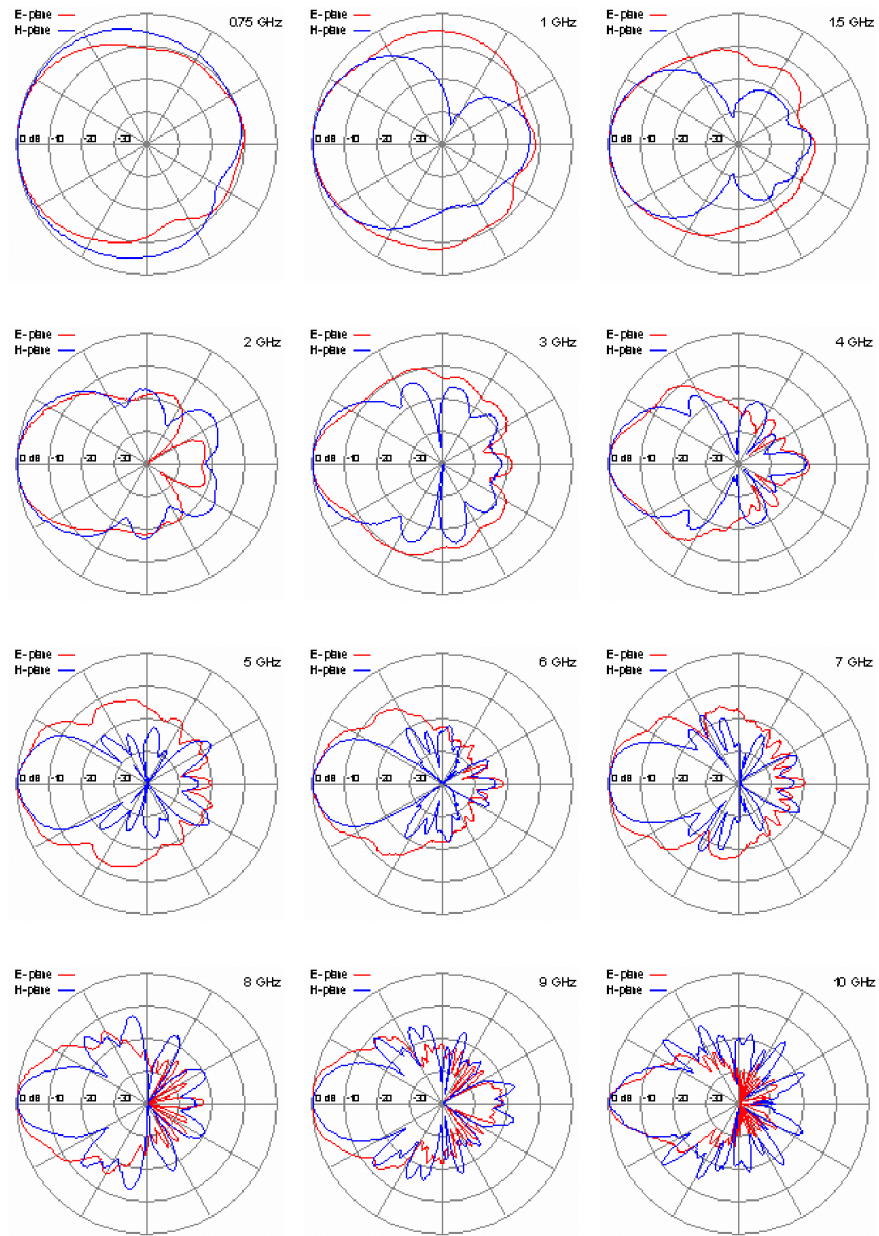


e-mail: info@rfspin.cz

<http://www.rfspin.cz>

fax: +420 224 353 103

Radiation Patterns



Calibration report of the double ridged broadband horn DRH10

s.n. 181001A10

October 29, 2018

Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR	Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR
0.74	23.3	4.3	1.59	3.7	28.8	12.9	1.06
0.8	23.4	4.9	1.22	3.8	28.8	13.1	1.08
0.9	23.3	6.0	1.33	3.9	28.9	13.2	1.18
1	23.5	6.8	1.34	4	29.0	13.3	1.23
1.1	23.7	7.4	1.19	4.1	29.0	13.5	1.22
1.2	24.1	7.7	1.13	4.2	29.1	13.6	1.17
1.3	24.2	8.4	1.18	4.3	29.3	13.6	1.12
1.4	24.6	8.5	1.23	4.4	29.7	13.4	1.10
1.5	25.0	8.8	1.26	4.5	30.0	13.4	1.12
1.6	25.0	9.3	1.25	4.6	30.0	13.5	1.16
1.7	25.1	9.8	1.23	4.7	30.1	13.6	1.15
1.8	25.2	10.1	1.25	4.8	30.3	13.5	1.08
1.9	25.5	10.4	1.30	4.9	30.7	13.4	1.03
2	25.7	10.6	1.39	5	31.1	13.1	1.10
2.1	26.2	10.5	1.44	5.1	31.4	13.0	1.13
2.2	26.8	10.3	1.32	5.2	31.5	13.1	1.10
2.3	27.0	10.5	1.15	5.3	31.7	13.1	1.04
2.4	27.1	10.7	1.03	5.4	31.8	13.1	1.04
2.5	27.4	10.8	1.09	5.5	31.9	13.2	1.12
2.6	27.7	10.9	1.22	5.6	31.9	13.3	1.17
2.7	28.2	10.7	1.33	5.7	32.0	13.4	1.16
2.8	28.5	10.7	1.36	5.8	32.1	13.5	1.10
2.9	28.7	10.8	1.28	5.9	32.2	13.5	1.06
3	28.7	11.1	1.15	6	32.3	13.5	1.11
3.1	28.6	11.5	1.01	6.1	32.5	13.5	1.16
3.2	28.7	11.7	1.10	6.2	32.6	13.5	1.17
3.3	28.7	11.9	1.18	6.3	32.8	13.5	1.14
3.4	28.8	12.1	1.23	6.4	33.1	13.2	1.09
3.5	28.8	12.3	1.22	6.5	33.5	13.1	1.10
3.6	28.8	12.6	1.15	6.6	33.7	13.0	1.17

Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR
6.7	33.8	12.9	1.21
6.8	34.0	12.9	1.20
6.9	34.2	12.9	1.14
7	34.5	12.7	1.09
7.1	34.7	12.5	1.14
7.2	34.8	12.6	1.20
7.3	34.7	12.8	1.21
7.4	34.6	13.1	1.17
7.5	34.5	13.3	1.12
7.6	34.4	13.5	1.12
7.7	34.3	13.6	1.16
7.8	34.3	13.8	1.18
7.9	34.1	14.1	1.16
8	33.8	14.5	1.13
8.1	33.5	14.9	1.10
8.2	33.3	15.2	1.10
8.3	33.2	15.4	1.11
8.4	33.3	15.4	1.10
8.5	33.7	15.2	1.09
8.6	34.1	14.9	1.12

Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR
8.7	34.4	14.6	1.17
8.8	34.6	14.5	1.21
8.9	34.8	14.4	1.21
9	34.9	14.4	1.20
9.1	34.9	14.5	1.19
9.2	34.7	14.8	1.21
9.3	34.4	15.2	1.22
9.4	34.3	15.4	1.22
9.5	34.3	15.5	1.21
9.6	34.3	15.6	1.18
9.7	34.1	15.8	1.15
9.8	34.0	16.1	1.11
9.9	33.9	16.3	1.07
10	34.0	16.3	1.04
10.1	34.2	16.1	1.05
10.2	34.5	15.9	1.05
10.3	34.9	15.7	1.04
10.4	35.3	15.3	1.05
10.5	35.9	14.8	1.06
10.6	36.4	14.3	1.08

Test method

(Anechoic chamber – three antenna method)

Distance

3 m

Calibration reference point

referring to aperture plane

Measurement info:

Factory calibration

Measured by R&S ZVA40 in unaccredited chamber

RFspin s.r.o.
Na Berance 57/2
100 00 Praha 6
IČ: 27084950

Calibration report of the double ridged broadband horn DRH10

s.n. 160504A10

May 17, 2016

Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR	Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR
0.74	23.1	4.5	1.56	3.7	28.7	12.9	1.20
0.8	23.3	5.0	1.22	3.8	28.6	13.3	1.14
0.9	23.5	5.8	1.36	3.9	28.8	13.3	1.24
1	23.5	6.8	1.38	4	29.0	13.3	1.31
1.1	23.6	7.5	1.22	4.1	28.9	13.6	1.31
1.2	23.8	8.1	1.12	4.2	29.0	13.8	1.25
1.3	24.1	8.4	1.17	4.3	29.2	13.7	1.18
1.4	24.8	8.4	1.23	4.4	29.6	13.5	1.15
1.5	25.0	8.8	1.26	4.5	29.9	13.5	1.18
1.6	24.8	9.5	1.26	4.6	29.9	13.6	1.22
1.7	25.0	9.9	1.25	4.7	30.0	13.7	1.19
1.8	25.2	10.1	1.26	4.8	30.3	13.5	1.08
1.9	25.5	10.4	1.34	4.9	30.7	13.4	1.09
2	25.7	10.6	1.43	5	30.9	13.3	1.20
2.1	26.0	10.7	1.44	5.1	31.2	13.2	1.24
2.2	26.6	10.5	1.29	5.2	31.5	13.1	1.18
2.3	27.0	10.5	1.13	5.3	31.6	13.1	1.11
2.4	27.0	10.9	1.05	5.4	31.7	13.2	1.15
2.5	27.1	11.1	1.06	5.5	31.8	13.3	1.26
2.6	27.5	11.1	1.18	5.6	32.0	13.3	1.34
2.7	28.1	10.7	1.31	5.7	32.0	13.4	1.33
2.8	28.4	10.8	1.41	5.8	32.0	13.6	1.27
2.9	28.4	11.1	1.40	5.9	32.1	13.6	1.23
3	28.5	11.3	1.27	6	32.3	13.5	1.29
3.1	28.6	11.5	1.13	6.1	32.4	13.5	1.36
3.2	28.5	11.8	1.14	6.2	32.5	13.6	1.37
3.3	28.6	12.0	1.26	6.3	32.8	13.5	1.33
3.4	28.6	12.2	1.37	6.4	33.2	13.2	1.28
3.5	28.8	12.4	1.39	6.5	33.5	13.0	1.29
3.6	28.8	12.6	1.31	6.6	33.7	12.9	1.38

Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR
6.7	33.8	13.0	1.44
6.8	34.0	12.9	1.41
6.9	34.2	12.8	1.32
7	34.5	12.7	1.28
7.1	34.7	12.6	1.33
7.2	34.9	12.6	1.39
7.3	34.8	12.8	1.39
7.4	34.6	13.1	1.33
7.5	34.4	13.4	1.27
7.6	34.3	13.6	1.28
7.7	34.3	13.7	1.31
7.8	34.3	13.8	1.33
7.9	34.2	14.0	1.29
8	33.9	14.4	1.25
8.1	33.6	14.8	1.22
8.2	33.3	15.2	1.22
8.3	33.2	15.5	1.20
8.4	33.2	15.5	1.13
8.5	33.6	15.3	1.03
8.6	34.0	14.9	1.11

Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR
8.7	34.3	14.7	1.21
8.8	34.4	14.7	1.31
8.9	34.5	14.7	1.36
9	34.6	14.7	1.36
9.1	34.6	14.9	1.38
9.2	34.5	15.0	1.41
9.3	34.4	15.3	1.44
9.4	34.3	15.5	1.44
9.5	34.2	15.6	1.40
9.6	34.2	15.7	1.34
9.7	34.1	15.9	1.29
9.8	33.8	16.3	1.23
9.9	33.7	16.5	1.18
10	33.8	16.5	1.17
10.1	34.0	16.3	1.16
10.2	34.3	16.1	1.14
10.3	34.6	15.9	1.13
10.4	35.0	15.6	1.11
10.5	35.5	15.1	1.07
10.6	36.1	14.6	1.03

Test method

ANSI C63.5 (Anechoic chamber)

Distance

3 m

Calibration reference point

referring to aperture plane

Measurement info:

Factory calibration

Measured by R&S ZVA40 in unaccredited chamber

RFspin s.r.o.
Na Beránce 57/2
160 00 Praha 6
IČ: 27084990

e-mail info@rfspin.cz
<http://www.rfspin.com>

D Katalogový list DRH370



Antenna Specifications

October 2014

Double Ridged Horn Antenna – Model DRH370

Electrical Specifications

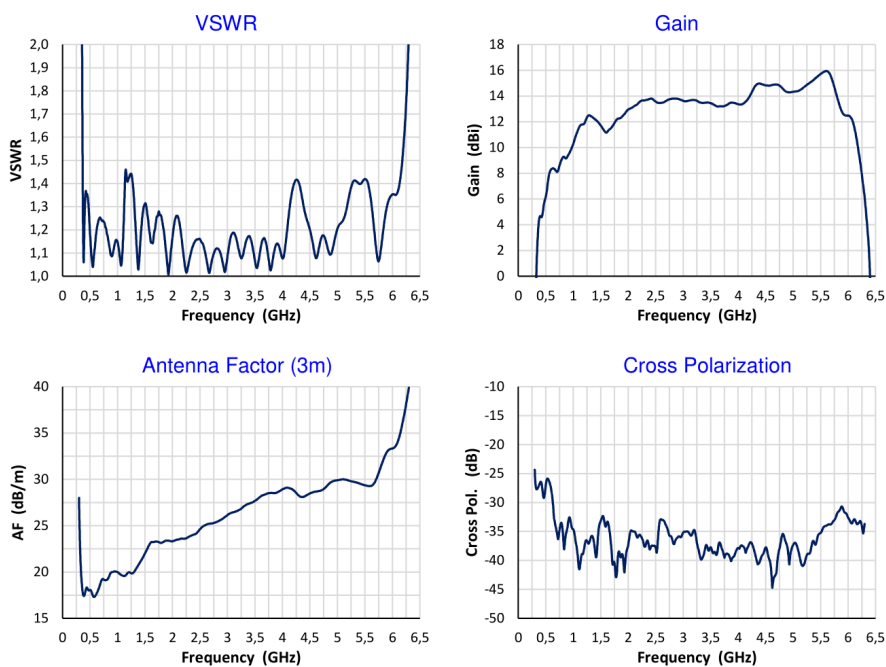
Frequency Range	370 MHz – 6 GHz
VSWR (max.)	< 1.6
Impedance	50 Ω
Connector	Nfemale
Power (CW / Pulse)	350 W / 500 W

Physical Specifications

Width	370 mm (14.57 in)
Depth	285 mm (11.22 in)
Height	485 mm (19.09 in)
Weight	3.5 kg (7.7 lb)



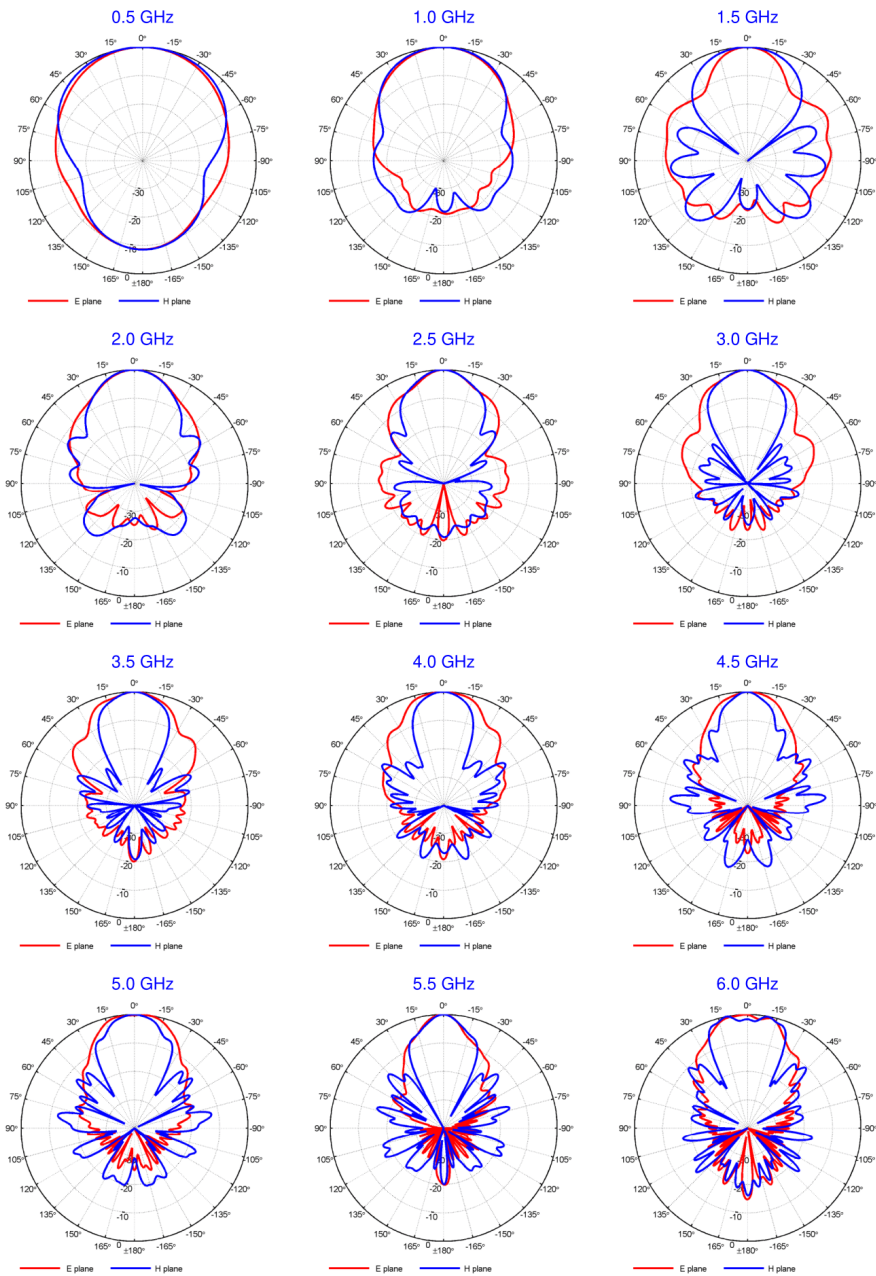
Typical Parameters



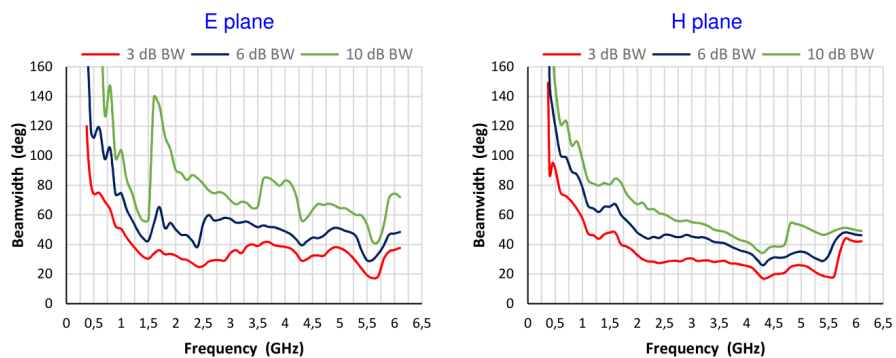
e-mail: info@rfspin.cz

<http://www.rfspin.com>

Radiation Patterns



Beamwidth



Calibration report of the double ridged broadband horn DRH370

s.n. 170610A370

October 25, 2018

Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR	Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR
0.37	18.3	3.3	1.19	1.95	23.7	12.3	1.14
0.40	17.7	4.6	1.30	2.00	23.7	12.6	1.19
0.45	18.2	5.1	1.37	2.05	23.7	12.8	1.20
0.50	18.4	5.9	1.18	2.10	23.8	12.9	1.15
0.55	18.3	6.8	1.07	2.15	23.8	13.1	1.08
0.60	18.1	7.7	1.25	2.20	23.7	13.4	1.10
0.65	18.8	7.7	1.34	2.25	23.7	13.6	1.16
0.70	19.6	7.6	1.27	2.30	23.8	13.6	1.19
0.75	19.8	8.0	1.16	2.35	23.9	13.8	1.18
0.80	19.9	8.5	1.14	2.40	24.0	13.9	1.13
0.85	20.4	8.4	1.19	2.45	24.2	13.8	1.06
0.90	20.7	8.6	1.16	2.50	24.6	13.6	1.10
0.95	20.8	9.0	1.09	2.55	25.0	13.4	1.16
1.00	20.7	9.5	1.06	2.60	25.2	13.4	1.16
1.05	20.5	10.2	1.12	2.65	25.3	13.4	1.10
1.10	20.4	10.7	1.20	2.70	25.4	13.4	1.02
1.15	20.4	11.0	1.36	2.75	25.5	13.5	1.06
1.20	20.7	11.1	1.30	2.80	25.6	13.6	1.10
1.25	20.6	11.6	1.35	2.85	25.7	13.7	1.11
1.30	20.8	11.8	1.34	2.90	25.9	13.6	1.09
1.35	21.2	11.7	1.22	2.95	26.1	13.6	1.03
1.40	21.7	11.5	1.09	3.00	26.3	13.5	1.06
1.45	22.2	11.3	1.14	3.05	26.5	13.5	1.13
1.50	22.7	11.0	1.25	3.10	26.6	13.5	1.17
1.55	23.4	10.7	1.28	3.15	26.7	13.6	1.15
1.60	23.8	10.5	1.28	3.20	26.8	13.5	1.10
1.65	23.9	10.7	1.26	3.25	27.0	13.5	1.05
1.70	23.9	11.0	1.23	3.30	27.2	13.4	1.09
1.75	23.8	11.4	1.19	3.35	27.4	13.4	1.14
1.80	23.7	11.7	1.14	3.40	27.5	13.4	1.16
1.85	23.8	11.9	1.10	3.45	27.6	13.4	1.12
1.90	23.8	12.1	1.09	3.50	27.8	13.3	1.05

Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR	Frequency (GHz)	Antenna factor (dB/m)	Gain (dBi)	VSWR
3.55	28.1	13.2	1.04	4.80	29.2	14.7	1.16
3.60	28.3	13.1	1.12	4.85	29.5	14.5	1.12
3.65	28.4	13.1	1.16	4.90	29.7	14.4	1.14
3.70	28.5	13.1	1.13	4.95	29.8	14.3	1.20
3.75	28.7	13.1	1.05	5.00	29.9	14.3	1.25
3.80	28.7	13.1	1.05	5.05	30.0	14.3	1.26
3.85	28.7	13.3	1.13	5.10	30.0	14.4	1.27
3.90	28.8	13.3	1.16	5.15	30.0	14.5	1.31
3.95	28.9	13.3	1.12	5.20	29.9	14.7	1.37
4.00	29.2	13.1	1.08	5.25	29.9	14.8	1.42
4.05	29.3	13.1	1.15	5.30	29.8	14.9	1.44
4.10	29.4	13.1	1.26	5.35	29.7	15.1	1.42
4.15	29.3	13.3	1.36	5.40	29.6	15.3	1.40
4.20	29.1	13.6	1.41	5.45	29.4	15.6	1.39
4.25	28.8	14.1	1.44	5.50	29.3	15.7	1.40
4.30	28.3	14.6	1.43	5.55	29.2	15.9	1.36
4.35	28.1	15.0	1.38	5.60	29.2	16.0	1.28
4.40	28.1	15.0	1.31	5.65	29.4	15.9	1.17
4.45	28.3	14.9	1.26	5.70	30.0	15.4	1.04
4.50	28.5	14.8	1.21	5.75	30.8	14.7	1.07
4.55	28.6	14.8	1.14	5.80	31.7	13.8	1.18
4.60	28.6	14.9	1.09	5.85	32.6	13.0	1.28
4.65	28.7	14.9	1.13	5.90	33.2	12.5	1.35
4.70	28.8	14.9	1.19	5.95	33.4	12.3	1.39
4.75	28.9	14.8	1.20	6.00	33.6	12.3	1.42

Test method

Anechoic chamber – three antenna method

Distance

3 m

Calibration reference point

referring to aperture plane

Measurement info:

Factory calibration

Measured by R&S ZVA40 in unaccredited chamber

RFspin s.r.o.
Na Beránce 57/2
250 00 Praha 6
IČ: 27024930

e-mail info@rfspin.cz
<http://www.rfspin.com>

E Návod pro měření

VŠB	TECHNICKÁ	FAKULTA	KATEDRA
UNIVERZITA	ELEKTROTECHNIKY	A INFORMATIKY	TELEKOMUNIKAČNÍ
OSTRAVA			TECHNIKY

MĚŘENÍ SMĚROVÉ CHARAKTERISTIKY ANTÉN

POMOCÍ VEKTOROVÉHO OBVODOVÉHO ANALYZÁTORU
ROHDE & SCHWARZ ZND8

Datum: 10.05.2020
Autor: František Folovský
Kontakt: frantisek.folovsky.st@vsb.cz

Navod_k_mereni_smerove_charakteristiky

Obsah

1. Frekvenční rozsah antény
 - 1.1 Parametr S11
 - 1.2 Formát zobrazení
 - 1.3 Nastavení měřeného rozsahu
 - 1.4 Kalibrace přístroje
 - 1.5 Odečítání naměřených hodnot
2. Nastavení vektorového analyzátoru pro měření výkonové úrovně
 - 2.1 Parametr S21
 - 2.2 Formát zobrazení
 - 2.3 Vysílací výkonová úroveň
 - 2.4 Průměrování
 - 2.5 Vysílací frekvence
 - 2.5.1 Nastavení měřeného rozsahu
 - 2.5.2 Frekvenční segmenty
 - 2.6 Kalibrace přístroje
 - 2.7 Nastavení časové brány
3. Měření směrové charakteristiky antény
 - 3.1 Umístění antén
 - 3.2 Výpočty

Před nastavením vektorového analyzátoru je vhodné uvést přístroj do výchozího nastavení po předchozím uživateli. K tomu využijte v sekci **System** tlačítko **PRESET**:

SYSTEM -> PRESET



Obrázek 1: Uvedení přístroje do výchozího nastavení

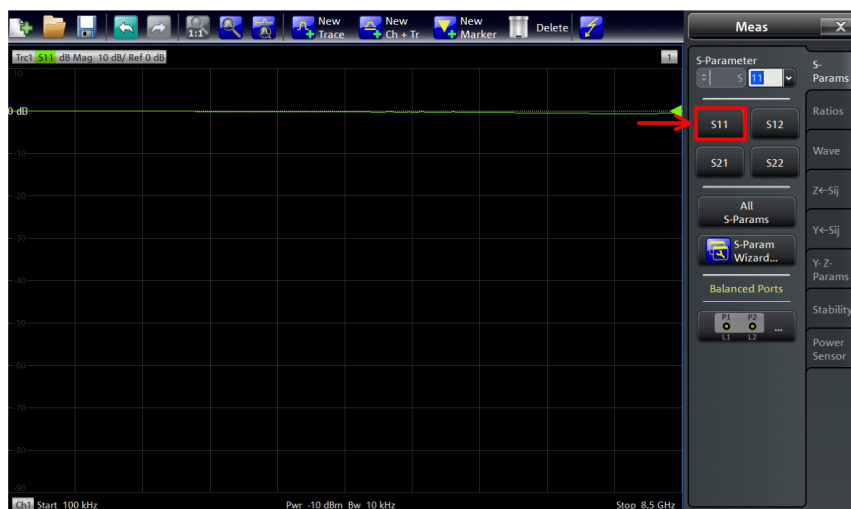
1. Frekvenční rozsah antény

Pokud nemáte k měření anténě dokumentaci, je potřeba zjistit, zda je anténa pro dané frekvence impedančně přizpůsobená. Zde využijte parametr SWR (Standing Wave Ratio).

1.1 Nastavení parametru S11

Pro měření impedančního přizpůsobení antény nastavte na vektorovém analyzátoru měření parametru S11:

TRACE -> MEAS -> S-Params

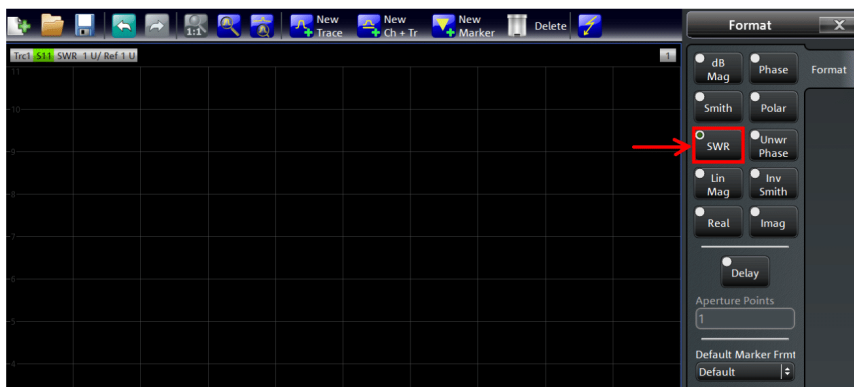


Obrázek 2: Nastavení parametru S11

1.2 Formát zobrazení

V dalším kroku nastavte formát zobrazení naměřených hodnot. Zvolte formát SWR:

TRACE -> FORMAT



Obrázek 3: Formát zobrazení

1.3 Nastavení měřeného rozsahu

Nyní je potřeba nastavit frekvenční rozsah měření. Nastavení lze provést zadáním frekvenčního rozsahu nebo středové frekvence a šířky měřeného úseku:

STIMULUS -> START/STOP/CENTER/SPAN

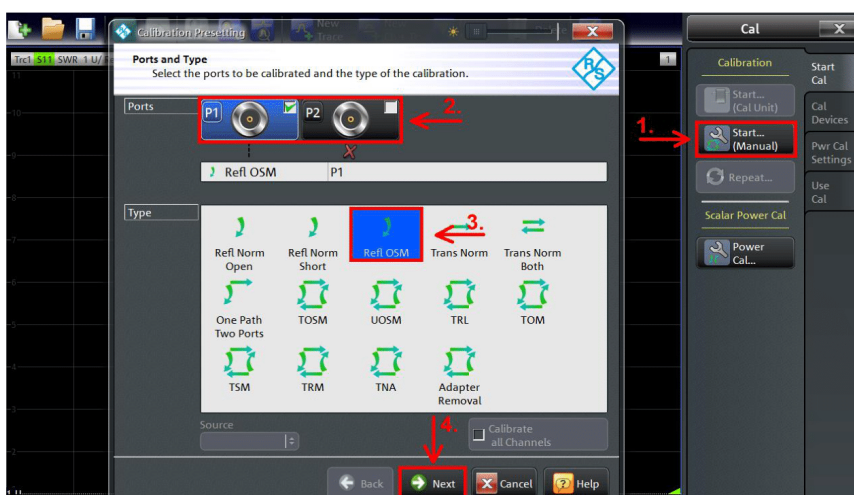


Obrázek 4: Nastavení měřeného rozsahu

1.4 Kalibrace přístroje

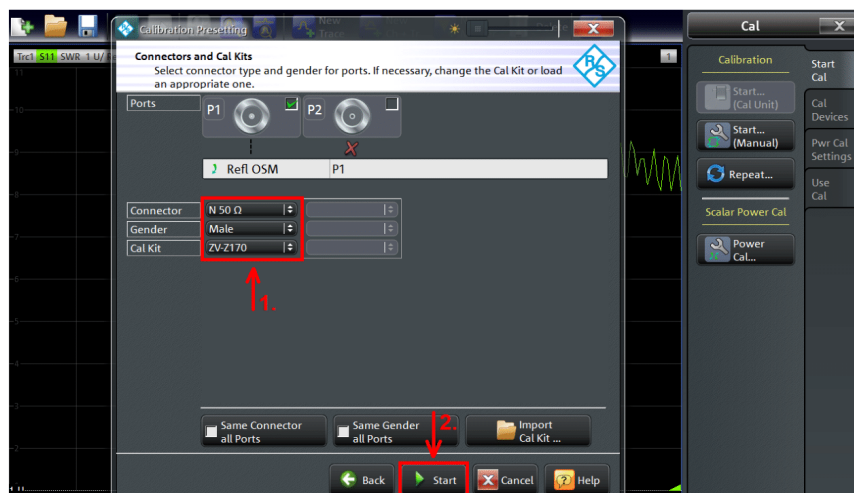
V posledním kroku je potřeba provést kalibraci přístroje s využitím kalibračního modulu. Zde zvolte metodu Refl OSM pro zajištění přesnější kalibrace:

CHANNEL -> CAL -> Start Cal -> Start... (Manual)



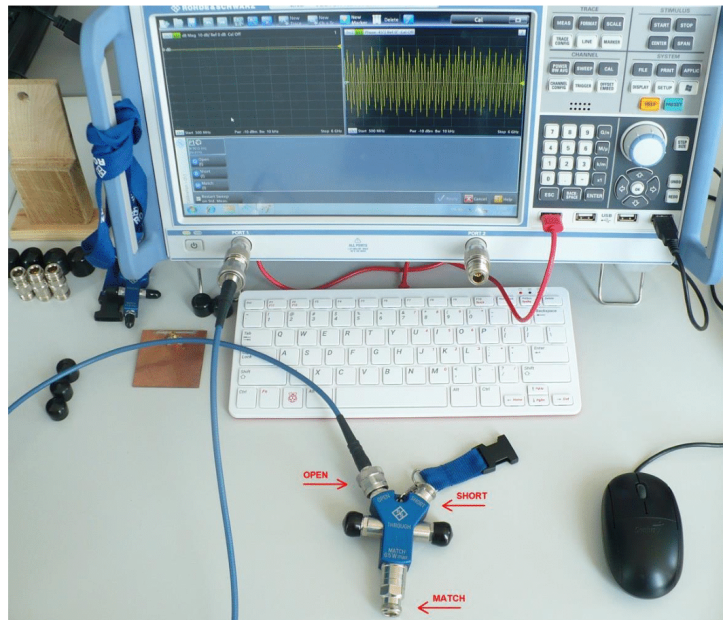
Obrázek 5: Kalibrační metody

Dále nastavte typ konektoru podle použitého propojovacího kabelu a zvolte podle toho vhodný kalibrační modul:



Obrázek 6: Kalibrační modul

Následně připojte kalibrační modul a načtěte kalibrační sadu **OPEN** dle Obrázku 7:



Obrázek 7: Načtení kalibrační sady - OPEN

Postupně načtěte všechny kalibrační sady z modulu a potvrďte kalibraci:



Obrázek 8: Průběh kalibrace

1.5 Odečítání naměřených hodnot

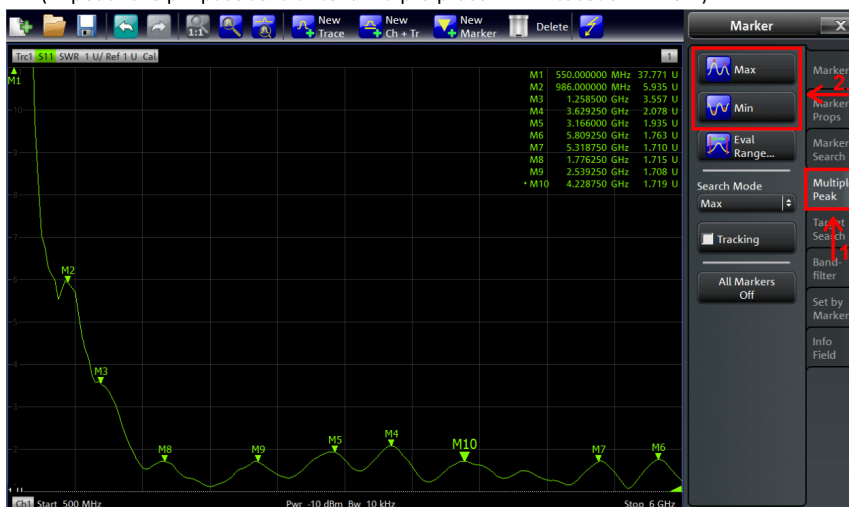
Nyní můžeme přistoupit k měření. Připojte anténu k propojovacímu kabelu a zapněte a nastavte ukazatel naměřených hodnot:

TRACE -> MARKER -> Markers



Obrázek 9: Nastavení ukazatelů

Dle potřeby lze využít pokročilejší vyhledávání například pro lokální extrémy: (impedančně přizpůsobená anténa má pro pracovní kmitočet SWR < 3:1)



Obrázek 10: Lokální extrémy

2. Nastavení vektorového analyzátoru pro měření výkonové úrovně

Pro měření výkonové úrovně trasy využijte parametr S21. Nastavením parametru S21 obvodový vektorový analyzátor přiřadí **PORT 2** jako vysílací a **PORT 1** jako měřicí.

2.1 Parametr S21

Nastavte na vektorovém analyzátoru parametr S21:

TRACE -> MEAS -> S-Params -> S21



Obrázek 11: Nastavení parametru S21

2.2 Formát zobrazení

Pro měření výkonové úrovně trasy zvolte formát zobrazení zisku v dB.

TRACE -> Format -> dB Mag



Obrázek 12: Nastavení formátu zobrazení

2.3 Vysílací výkonová úroveň

Dále nastavte vysílací výkon. Zde je potřeba brát ohled na celou měřenou trasu. Pokud nastavíte nízkou úroveň, může se signál „ztratit“ v šumu. Horší případ nastane, když se dostane na vstupní port příliš vysoký výkon, zde pak může dojít k jeho poškození. Dle výrobce by neměla úroveň na vstupním portu přesahovat 3 dBm. S ohledem na tyto případy se doporučuje referenční hodnota 0 dBm:

CHANNEL -> POWER BW AVG -> Power



Obrázek 13: Nastavení vysílacího výkonu

2.4 Průměrování

Pro stabilizování měřené hodnoty můžete zapnout průměrování. Průměrováním minimalizujete vliv náhodné změny vlivem šumu za úkor prodloužení měření. S ohledem na časovou náročnost měření jsou vhodné hodnoty v rozsahu 10 až 100.

CHANNEL -> POWER BW AVG -> Average



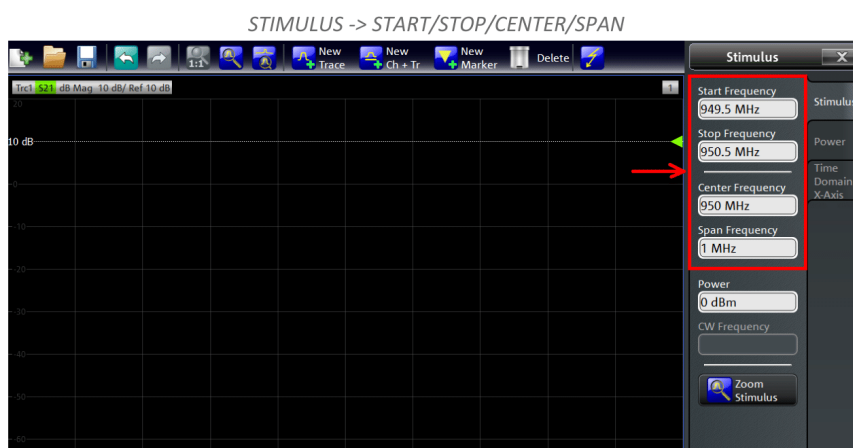
Obrázek 14: Nastavení průměrování

2.5 Vysílací frekvence

Vysílací frekvence lze nastavit různými způsoby zde jsou uvedeny dva nejčastější. Zadáním jednoho frekvenčního rozsahu pro přesnější měření pomocí dalších funkcí. Druhým způsobem jsou frekvenční segmenty pro měření více rozsahů zároveň. Zde je doporučeno použít první možnost a v Kapitole 2.7 zmíněnou funkci **Time Gate**.

2.5.1 Nastavení měřeného rozsahu

Nastavení frekvenčního rozsahu probíhá obdobně jako v Kapitole 1.3:



Obrázek 15: Nastavení frekvenčního rozsahu

Dle potřeby lze změnit i počet měřených bodů:

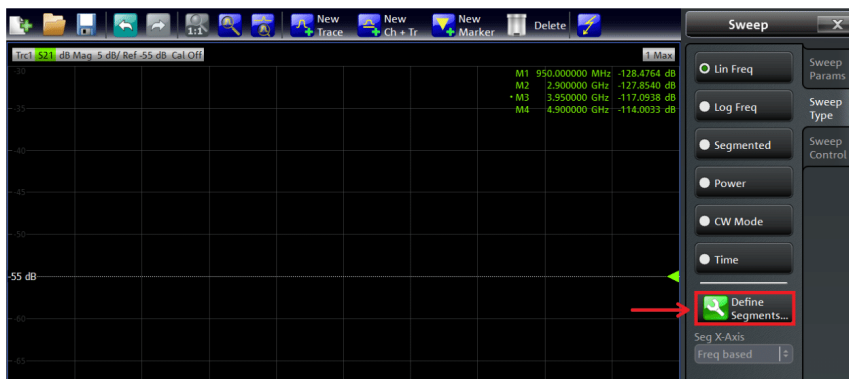


Obrázek 16: Počet měřených bodů

2.5.2 Frekvenční segmenty

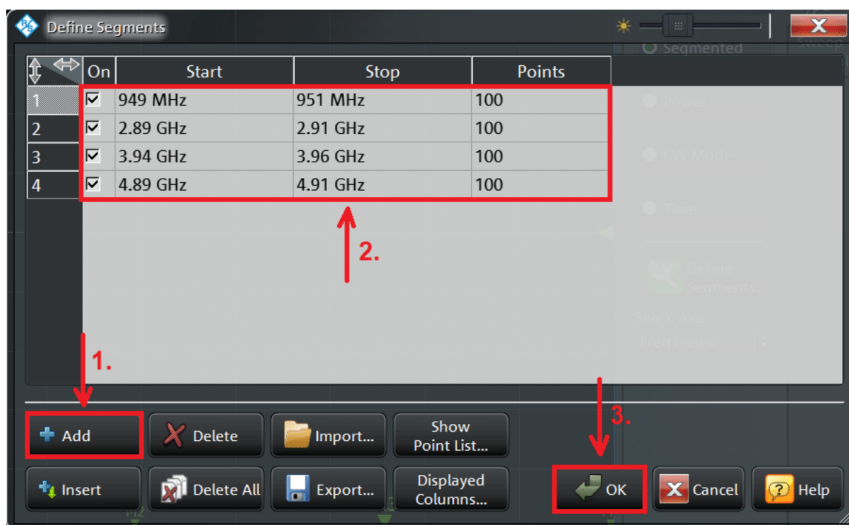
Pro měření na více frekvenčních úsecích nastavte frekvenční segmenty:

CHANNEL -> SWEEP -> Sweep Type



Obrázek 17: Nastavení frekvenčních segmentů

Do nadefinované tabulky vepíšete měřené frekvenční rozsahy a požadovaný počet měřených bodů pro daný rozsah. Při zvýšení počtů bodů narůstá přesnost měření (zmenšuje se měřený krok), ale narůstá doba měření. Proto počet měřených bodů volte s ohledem na průměrování, rozsah frekvenčních segmentů a časové nároky na měření:

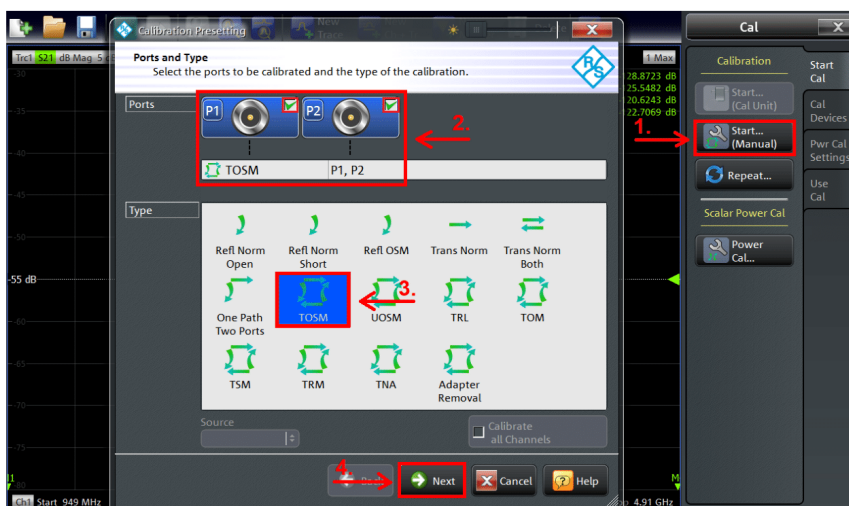


Obrázek 18: Definování frekvenčních segmentů

2.6 Kalibrace přístroje

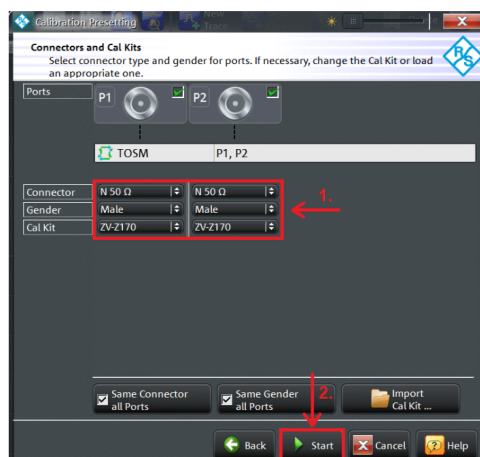
Po nastavení všech parametrů je potřeba pro přesné měření provést kalibraci přístroje. Pod pojmem kalibrace si lze zjednodušeně představit přizpůsobení přístroje na připojenou kabeláž a eliminování vlivu propojovacího kabelu na měřený výsledek. Zde je vhodné použít metodu TOSM pro co nejpřesnější kalibraci:

CHANNEL -> CAL -> Start... (Manual)



Obrázek 19: Kalibrace přístroje

V následujícím kroku zadejte typ konektoru propojovacího kabelu a kalibrační modul:



Obrázek 20: Nastavení kalibračního modulu

Nyní proved'te kalibraci pomocí zvoleného modulu s následujícím postupem:

1. Připojte kalibrační modul k vybranému portu pomocí propojovacího kabelu
2. Načtete příslušnou kalibrační sadu podle modulu
(Například pro kalibraci **P1 - Open(f)** propojte **PORT 1** a modul dle Obrázku 22)
3. Opakujeme krok 1. a 2. pro všechny kalibrační sady vyjma volitelné sady „Isolation“



Obrázek 22: Kalibrace - OPEN



Obrázek 22: Kalibrace - THROUGH

Po načtení potřebných sad potvrďte kalibraci a pokračujte k měření:

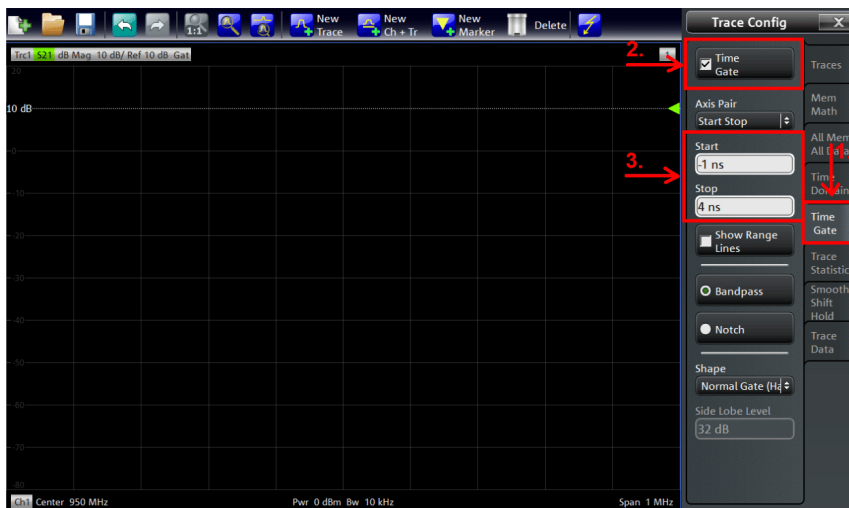


Obrázek 23: Průběh kalibrace

2.7 Nastavení časové brány

Poslední, volitelný krok je zapnutí časové brány **Time Gate**:

TRACE -> TRACE CONFIG -> Time Gate



Obrázek 24: Nastavení časové brány

Při správném nastavení časová brána minimalizuje vliv odrazů signálu na měření.
Pro vypočtení časových parametrů brány využijte základní vzorec:

$$t = \frac{R}{c}$$

t – čas

R – vzdálenost mezi vysílací a přijímací anténou

c – rychlost šíření signálu (pro zjednodušení $3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

Například pro antény ve vzdálenosti 2,5 m (při natočení nepřekročí vzdálenost 2,7 m)
vychází dle vzorce potřebný čas na 8,3 ns až 9 ns.

3. Měření směrové charakteristiky antény

3.1 Umístění antén

Podle měřeného kmitočtu určete minimální odstup antén dle obecného vzorce:

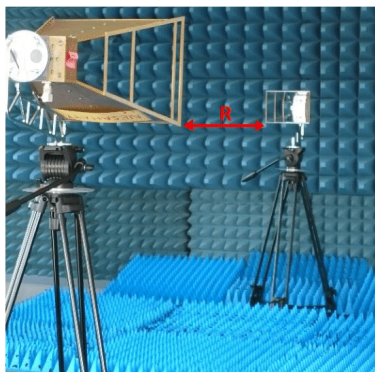
$$R > \frac{2D^2}{\lambda}$$

R – vzdálenost mezi vysílací a přijímací anténou

D – rozměr antény

Nyní vhodně umístěte stativy s anténami k bezodrazé stěně a nasměřujte na sebe.

Pro kontrolu, zda jsou antény správně natočeny, využijte například laserové ukazovátka:



Obrázek 25: Vhodné umístění stativu s anténou

Po nastavení přímého směru antény pootočte osu na stativu na 0° výchylku:



Obrázek 27: Původně natočená osa



Obrázek 27: Nastavená osa pro 0° výchylku

Zapište si vzdálenost mezi anténami pro pozdější výpočty.

Připojte antény k obvodovému vektorovému analyzátoru pomocí propojovacích kabelů, pro které jste provedli kalibraci a přistupte k měření.

3.2 Výpočty

Poté co jste provedli měření a zapsali jste si jednotlivé výkonové úrovně pro všechny Vámi potřebné výchylky je potřeba z těchto hodnot vypočítat zisk antény.

K výpočtu můžete použít zjednodušenou Friisovu přenosovou rovnici:

$$G_{Rx} = P_r - P_t - G_{Tx} - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad [dB]$$

G_{Rx} [dB] – zisk přijímací (měřené) antény

G_{Tx} [dB] – zisk vysílací antény

P_r [dBm] – naměřená výkonová úroveň (viz Kapitola 1.5)

P_t [dBm] – nastavená vysílací úroveň (viz Kapitola 2.3)

R [m] – vzdálenost mezi vysílací a přijímací anténou

Pokud máte k dispozici anténu se známým ziskem, můžete použít porovnávací metodu: (potřebujete: vysílací anténu, referenční anténu se známým ziskem a měřenou anténu)

1. Změřte výkonovou úroveň P_{r1} pomocí známé (referenční) antény
2. Vyměňte referenční anténu za měřenou anténu a změřte výkonovou úroveň P_{r2}
3. Rozdíl naměřených hodnot udává rozdíl mezi ziskem měřené a referenční antény: (za předpokladu, že se nezmění vzdálenost mezi vysílací a přijímací anténou)

$$G_{Rx} = P_{r2} - P_{r1} + G_{referenční} \quad [dB]$$

V případě, že není k dispozici anténa se známým ziskem, lze využít soustavu přenosových rovnic. Tato metoda je známá jako metoda tří antén:

$$G_A + G_B = P_r^{A \rightarrow B} - P_t^{A \rightarrow B} - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad [dB]$$

$$G_A + G_C = P_r^{A \rightarrow C} - P_t^{A \rightarrow C} - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad [dB]$$

$$G_B + G_C = P_r^{B \rightarrow C} - P_t^{B \rightarrow C} - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad [dB]$$

G_A [dB] – zisk antény A

$P_r^{A \rightarrow B}$ [dBm] – naměřená výkonová úroveň, kdy anténa A je vysílací a anténa B přijímací

$P_t^{A \rightarrow B}$ [dBm] – nastavená vysílací úroveň, kdy anténa A je vysílací a anténa B přijímací

Literatura

BALANIS, Constantine A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3rd Edition. England: Wiley-Interscience, April 4, 2005. ISBN 978-0471667827.

R&S®ZNC/ZND User Manual [online].

Dostupný z: < <https://www.rohde-schwarz.com/uk/manual/znd/> >

F Šablona laboratorní úlohy

VŠB TECHNICKÁ | FAKULTA | KATEDRA
UNIVERZITA | ELEKTROTECHNIKY | TELEKOMUNIKAČNÍ
OSTRAVA | A INFORMATIKY | TECHNIKY

Měření X

*Měření směrové charakteristiky antén
s použitím bezodrazé stěny a vektorového
obvodového analyzátoru R&S ZND8.*

Datum:
Vypracoval:
Login:

Sablona_mereni

Zadání:

Určete směrovou charakteristiku měřené antény pro zadaný kmitočet. Pokud kmitočet není zadán, zjistěte na jakou frekvenci je anténa přizpůsobena a použijte ji pro měření. Měření horizontální směrové charakteristiky proveďte v rozsahu $\pm 90^\circ$ s rozestupem po dvou stupních. Z měřených hodnot určete zisk měřené antény, šířku hlavního laloku (při poklesu na poloviční výkon) a sestrojte graf.

Měřicí přístroje a antény:

- Sepište použité měřicí přístroje a měřené antény.

Postup měření:

- Zde napište Váš postup měření.

Naměřené hodnoty:

- Předpřipravte si tabulku a zapište si do ní naměřené hodnoty.

Vzorové výpočty:

- Vypočítejte z naměřených hodnot zisky měřených antén.

Tabulky vypočtených hodnot:

- Přepočítejte naměřené hodnoty pro směrové charakteristiky antén.

Grafy směrových charakteristik:

- Z vypočtených hodnot sestrojte graf směrové charakteristiky pro měřené antény.

Vyhodnocení měření:

- Proveďte srovnání naměřených a katalogových hodnot.
- ...

G Vzorová laboratorní úloha

VŠB TECHNICKÁ | FAKULTA | KATEDRA
UNIVERZITA | ELEKTROTECHNIKY | TELEKOMUNIKAČNÍ
OSTRAVA | A INFORMATIKY | TECHNIKY

Měření 1

*Měření směrové charakteristiky antén
s použitím bezodrazé stěny a vektorového
obvodového analyzátoru R&S ZND8.*

Datum: 02.05.2020
Vypracoval: František Folovský
Login: FOL0124

Vzorove_mereni

Zadání:

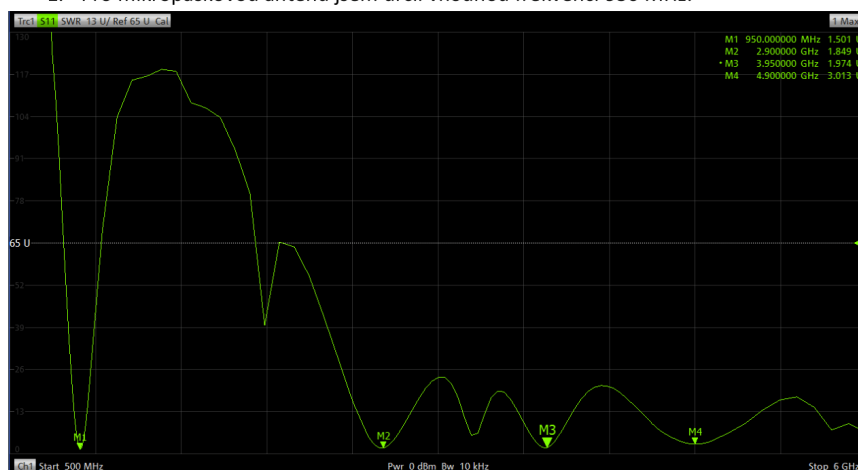
Určete směrovou charakteristiku měřené antény pro zadaný kmitočet. Pokud kmitočet není zadán, zjistěte na jakou frekvenci je anténa přizpůsobena a použijte ji pro měření. Měření horizontální směrové charakteristiky proveďte v rozsahu $\pm 90^\circ$ s rozestupem po dvou stupních. Z měřených hodnot určete zisk měřené antény, šířku hlavního laloku (při poklesu na poloviční výkon) a sestrojte graf.

Měřicí přístroje a antény:

- Vektorový analyzátor Rohde & Schwarz ZND8.
- Antény: DRH370_170610A370, DRH10_181001A10 a mikropásková anténa.

Postup měření:

1. Pro mikropáskovou anténu jsem určil vhodnou frekvenci 950 MHz:



Obrázek 1: SWR mikropáskové antény

2. Z přiložených dokumentací antén jsem ověřil, že jsou ostatní antény taky vhodné pro daný frekvenční rozsah.
3. Použil jsem vzorec na výpočet minimálního rozestupu antén na kmitočtu 950 MHz:

$$\text{pro vysílací anténu DRH10: } R > \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 0,204^2}{0,3158} \doteq 0,3 \text{ m}$$

$$\text{pro vysílací anténu DRH370: } R > \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 0,485^2}{0,3158} \doteq 1,5 \text{ m}$$

4. Zvolil jsem si, že využiji metodu tří antén a dle toho budu dále postupovat.

- Umístím stativy do 2,5m vzdálenosti a na ně připevním první dvě antény pro měření.
- Nastavím antény do stejné výšky a uvedu antény do vodorovné polohy.
- Natočím antény naproti sebe pomocí laserového ukazovátka a nastavím osu výchylky na stativu na 0°. Pro každý měřený pár antén změřím jejich rozestup.
- Provedu nastavení a kalibraci vektorového analyzátoru a připojím měřené antény.
- Pro každou anténu provedu měření v rozsahu $\pm 90^\circ$ s rozestupem po dvou stupních.
- Naměřené hodnoty zpracuji do tabulek a vypočítám zisk jednotlivých antén a sestrojím graf směrové charakteristiky.
- U antén se známým ziskem srovnám hodnoty výrobce s vypočtenými.

Naměřené hodnoty:

Vysílací: DRH10_181001A10, měřená: mikropásková, rozestup: 2,35 m, frekvence: 950 MHz, bandwidth: 10 kHz, výkon: 0 dBm, průměrování: 20, gate: 7,5 až 8 ns																								
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62									
Změřeno [dBm]	-48,47	-48,17	-47,87	-47,59	-47,36	-47	-46,66	-46,41	-46,26	-45,94	-45,55	-45,31	-45,19	-44,89	-44,63									
Výchylka [°]	-60	-58	-56	-54	-52	-50	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32									
Změřeno [dBm]	-44,38	-44,15	-43,96	-43,81	-43,53	-43,36	-43,23	-43,15	-42,94	-42,81	-42,61	-42,47	-42,38	-42,25	-42,03									
Výchylka [°]	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2									
Změřeno [dBm]	-41,95	-41,9	-41,78	-41,65	-41,55	-41,49	-41,45	-41,38	-41,34	-41,3	-41,29	-41,25	-41,21	-41,21	-41,19									
Výchylka [°]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28									
Změřeno [dBm]	-41,16	-41,15	-41,18	-41,2	-41,23	-41,27	-41,35	-41,43	-41,46	-41,51	-41,61	-41,72	-41,8	-41,86	-41,93									
Výchylka [°]	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58									
Změřeno [dBm]	-41,96	-42,09	-42,19	-42,25	-42,34	-42,37	-42,56	-42,65	-42,68	-42,84	-42,97	-43,16	-43,33	-43,49	-43,81									
Výchylka [°]	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90								
Změřeno [dBm]	-44,03	-44,49	-44,71	-45,1	-45,27	-45,6	-45,71	-45,8	-45,76	-45,56	-45,71	-45,74	-45,78	-45,83	-45,91	-45,68								

Vysílací: DRH370_170610A370, měřená: mikropásková, rozestup: 2,16 m, frekvence: 950 MHz, bandwidth: 10 kHz, výkon: 0 dBm, průměrování: 20, gate: 7 až 7,5 ns																								
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62									
Změřeno [dBm]	-45,03	-44,98	-44,73	-44,62	-44,49	-44,27	-44,12	-43,88	-43,61	-43,47	-43,16	-42,93	-42,66	-42,48	-42,23									
Výchylka [°]	-60	-58	-56	-54	-52	-50	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32									
Změřeno [dBm]	-42,01	-41,72	-41,57	-41,28	-41,11	-40,86	-40,62	-40,48	-40,24	-40,02	-39,9	-39,71	-39,54	-39,42	-39,25									
Výchylka [°]	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2									
Změřeno [dBm]	-39,08	-38,93	-38,74	-38,64	-38,51	-38,39	-38,31	-38,21	-38,15	-38,1	-38,03	-37,95	-37,92	-37,91	-37,9									
Výchylka [°]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28									
Změřeno [dBm]	-37,89	-37,91	-37,94	-37,97	-37,99	-38,01	-38,04	-38,1	-38,12	-38,15	-38,18	-38,27	-38,36	-38,38	-38,46									
Výchylka [°]	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58									
Změřeno [dBm]	-38,5	-38,59	-38,69	-38,78	-38,86	-38,97	-39,09	-39,23	-39,38	-39,64	-39,81	-40,14	-40,45	-40,69	-41,02									
Výchylka [°]	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90								
Změřeno [dBm]	-41,55	-41,88	-42,16	-42,41	-42,73	-42,96	-43,17	-43,39	-43,67	-43,96	-44,36	-44,71	-45,05	-45,46	-45,77	-46,11								

Vysílací: DRH370_170610A370, měřená: DRH10_181001A10, rozestup: 2,01 m, frekvence: 950 MHz, bandwidth: 10 kHz, výkon: 0 dBm, průměrování: 20, gate: 6,5 až 7,5 ns																								
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62									
Změřeno [dBm]	-38,04	-37,96	-37,72	-36,97	-36,3	-35,62	-35,35	-35,02	-34,18	-33,43	-32,89	-32,58	-32,2	-31,52	-30,83									
Výchylka [°]	-60	-58	-56	-54	-52	-50	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32									
Změřeno [dBm]	-30,31	-30,02	-29,58	-29,06	-28,57	-28,04	-27,73	-27,44	-26,97	-26,72	-26,39	-26,17	-25,92	-25,61	-25,32									
Výchylka [°]	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2									
Změřeno [dBm]	-24,99	-24,78	-24,63	-24,46	-24,31	-24,15	-23,97	-23,86	-23,76	-23,66	-23,6	-23,53	-23,48	-23,47	-23,45									
Výchylka [°]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28									
Změřeno [dBm]	-23,49	-23,48	-23,51	-23,57	-23,65	-23,72	-23,81	-23,91	-24,04	-24,19	-24,4	-24,51	-24,66	-24,85	-24,98									
Výchylka [°]	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58									
Změřeno [dBm]	-25,23	-25,41	-25,58	-25,8	-26,02	-26,24	-26,41	-26,67	-26,92	-27,18	-27,49	-27,78	-28,13	-28,54	-28,89									
Výchylka [°]	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90								
Změřeno [dBm]	-29,33	-29,79	-30,31	-30,87	-31,38	-32,1	-32,67	-33,29	-34,06	-34,62	-35,44	-36,26	-36,93	-37,72	-38,36	-38,97								

Vysílací: DRH10_181001A10, měřená: DRH370_170610A370, rozestup: 2,01 m, frekvence: 950 MHz, bandwidth: 10 kHz, výkon: 0 dBm, průměrování: 20, gate: 6,5 až 8 ns																								
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62									
Změřeno [dBm]	-41,48	-41,93	-42,6	-43,25	-44,09	-43,93	-43,24	-42,09	-40,86	-39,4	-38,18	-36,920447	-35,75	-34,44	-33,65									
Výchylka [°]	-60	-58	-56	-54	-52	-50	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32									
Změřeno [dBm]	-32,77	-31,99	-31,02	-30,38	-29,63	-28,98	-28,52	-28,11	-27,63	-27,24	-26,84	-26,51	-26,19	-25,98	-25,72									
Výchylka [°]	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2									
Změřeno [dBm]	-25,46	-25,14	-24,88	-24,52	-24,32	-24,23	-24,04	-23,89	-23,71	-23,58	-23,33	-23,12	-22,88	-22,72	-22,59									
Výchylka [°]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28									
Změřeno [dBm]	-22,48	-22,53	-22,61	-22,66	-22,69	-22,77	-22,93	-23,11	-23,27	-23,42	-23,63	-23,96	-24,39	-24,91	-25,63									
Výchylka [°]	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58									
Změřeno [dBm]	-26,23	-27,01	-27,7	-28,82	-29,75	-30,97	-32,02	-33,49	-35,16	-36,78	-38,5	-40,01	-41,07	-43,68	-43,52									
Výchylka [°]	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90								
Změřeno [dBm]	-43,48	-42,33	-40,95	-39,78	-38,56	-37,63	-37,03	-36,39	-35,88	-35,5	-35,25	-35,02	-35,16	-35,09	-35,19	-35,36								

Vzorové výpočty:

Ztráta šířením pro rozestup 2,35m:

$$L_0 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_1}{\frac{c}{f}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi * 2,35}{\frac{3 * 10^8}{950 * 10^6}} \right) = 39,4176 \text{ dB}$$

Metoda tří antén:

$$G_{DRH10} + G_{DRH370} = P_r^{DRH10 \rightarrow DRH370} - P_t^{DRH10 \rightarrow DRH370} + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_1}{\lambda} \right)$$

$$G_{DRH10} + G_X = P_r^{DRH10 \rightarrow X} - P_t^{DRH10 \rightarrow X} + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_2}{\lambda} \right)$$

$$G_{DRH370} + G_X = P_r^{DRH370 \rightarrow X} - P_t^{DRH370 \rightarrow X} + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_3}{\lambda} \right)$$

Dosazené hodnoty do rovnic:

$$G_{DRH10} + G_{DRH370} = -22,48 - 0 + 38,0602 = 15,5802 \text{ dB}$$

$$G_{DRH10} + G_X = -41,15 - 0 + 39,4176 = -1,7324 \text{ dB}$$

$$G_{DRH370} + G_X = -37,89 - 0 + 38,6853 = 0,7953 \text{ dB}$$

Odečtení třetí rovnice od druhé:

$$G_{DRH10} - G_{DRH370} = -1,7324 - 0,7953 = -2,5277 \text{ dB}$$

Přičtení první rovnice a dopočtení zisku DRH10:

$$2 * G_{DRH10} = -2,5277 + 15,5802 = 13,0525 \text{ dB}$$

$$G_{DRH10} = 6,52625 \doteq \mathbf{6,53 \text{ dB}}$$

Dopočtení zisku DRH370:

$$G_{DRH370} = G_{DRH10} + G_{DRH370} - G_{DRH10} = 15,58 - 6,53 \doteq \mathbf{9,05 \text{ dB}}$$

Dopočtení zisku mikropáskové antény:

$$G_X = G_{DRH10} + G_X - G_{DRH10} = -1,7324 - 6,53 \doteq \mathbf{-8,26 \text{ dB}}$$

Nyní vypočtu zbylé hodnoty do tabulky podle vzorce:

$$G_{Rx} = P_r - P_t - G_{Tx} + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)$$

Vzorový výpočet: první tabulka, úhel -90°:

$$G_{Rx} = -48,47 - 0 - 6,53 + 39,4176 \doteq 15,58 \text{ dB}$$

Tabulky vypočtených hodnot:

Vysílací: DRH10_181001A10; měřená: mikropásková; rozestup: 2,35 m; frekvence: 950 MHz; bandwidth: 10 kHz; výkon: 0 dBm; průměrování: 20; gate: 7,5 až 8 ns															
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62
Zisk měřené antény [dB]	-15,58	-15,28	-14,98	-14,70	-14,47	-14,11	-13,77	-13,52	-13,37	-13,05	-12,66	-12,42	-12,30	-12,00	-11,74
Výchylka [°]	-60	-58	-56	-54	-52	-50	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32
Zisk měřené antény [dB]	-11,49	-11,26	-11,07	-10,92	-10,64	-10,47	-10,34	-10,26	-10,05	-9,92	-9,72	-9,58	-9,49	-9,36	-9,14
Výchylka [°]	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2
Zisk měřené antény [dB]	-9,06	-9,01	-8,89	-8,76	-8,66	-8,60	-8,56	-8,49	-8,45	-8,41	-8,40	-8,36	-8,32	-8,32	-8,30
Výchylka [°]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Zisk měřené antény [dB]	-8,27	-8,26	-8,29	-8,31	-8,34	-8,38	-8,46	-8,54	-8,57	-8,62	-8,72	-8,83	-8,91	-8,97	-9,04
Výchylka [°]	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
Zisk měřené antény [dB]	-9,07	-9,20	-9,30	-9,36	-9,45	-9,48	-9,67	-9,76	-9,79	-9,95	-10,08	-10,27	-10,44	-10,60	-10,92
Výchylka [°]	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88
Zisk měřené antény [dB]	-11,14	-11,60	-11,82	-12,21	-12,38	-12,71	-12,82	-12,91	-12,87	-12,67	-12,82	-12,85	-12,89	-12,94	-13,02
Vysílací: DRH370_170610A370; měřená: mikropásková; rozestup: 2,16 m; frekvence: 950 MHz; bandwidth: 10 kHz; výkon: 0 dBm; průměrování: 20; gate: 7 až 7,5 ns															
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62
Zisk měřené antény [dB]	-15,40	-15,35	-15,10	-14,99	-14,86	-14,64	-14,49	-14,25	-13,98	-13,84	-13,53	-13,30	-13,03	-12,85	-12,60
Výchylka [°]	-60	-58	-56	-54	-52	-50	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32
Zisk měřené antény [dB]	-12,38	-12,09	-11,94	-11,65	-11,48	-11,23	-10,99	-10,85	-10,61	-10,39	-10,27	-10,08	-9,91	-9,79	-9,62
Výchylka [°]	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2
Zisk měřené antény [dB]	-9,45	-9,30	-9,11	-9,01	-8,88	-8,76	-8,68	-8,58	-8,52	-8,47	-8,40	-8,32	-8,29	-8,28	-8,27
Výchylka [°]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Zisk měřené antény [dB]	-8,26	-8,28	-8,31	-8,34	-8,36	-8,38	-8,41	-8,47	-8,49	-8,52	-8,55	-8,64	-8,73	-8,75	-8,83
Výchylka [°]	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
Zisk měřené antény [dB]	-8,87	-8,96	-9,06	-9,15	-9,23	-9,34	-9,46	-9,60	-9,75	-10,01	-10,18	-10,51	-10,82	-11,06	-11,39
Výchylka [°]	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88
Zisk měřené antény [dB]	-11,92	-12,25	-12,53	-12,78	-13,10	-13,33	-13,54	-13,76	-14,04	-14,33	-14,73	-15,08	-15,42	-15,83	-16,14
Vysílací: DRH370_170610A370; měřená: DRH10_181001A10; rozestup: 2,01 m; frekvence: 950 MHz; bandwidth: 10 kHz; výkon: 0 dBm; průměrování: 20; gate: 6,5 až 7,5 ns															
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62
Zisk měřené antény [dB]	-9,03	-8,95	-8,71	-7,96	-7,29	-6,61	-6,34	-6,01	-5,17	-4,42	-3,88	-3,57	-3,19	-2,51	-1,82
Výchylka [°]	-60	-58	-56	-54	-52	-50	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32
Zisk měřené antény [dB]	-1,30	-1,01	-0,57	-0,05	0,44	0,97	1,28	1,57	2,04	2,29	2,62	2,84	3,09	3,40	3,69
Výchylka [°]	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2
Zisk měřené antény [dB]	4,02	4,23	4,38	4,55	4,70	4,86	5,04	5,15	5,25	5,35	5,41	5,48	5,53	5,54	5,56
Výchylka [°]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Zisk měřené antény [dB]	5,52	5,53	5,50	5,44	5,36	5,29	5,20	5,10	4,97	4,82	4,61	4,50	4,35	4,16	4,03
Výchylka [°]	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
Zisk měřené antény [dB]	3,78	3,60	3,43	3,21	2,99	2,77	2,60	2,34	2,09	1,83	1,52	1,23	0,88	0,47	0,12
Výchylka [°]	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88
Zisk měřené antény [dB]	-0,32	-0,78	-1,30	-1,86	-2,37	-3,09	-3,66	-4,28	-5,05	-5,61	-6,43	-7,25	-7,92	-8,71	-9,35
Vysílací: DRH10_181001A10; měřená: DRH370_170610A370; rozestup: 2,01 m; frekvence: 950 MHz; bandwidth: 10 kHz; výkon: 0 dBm; průměrování: 20; gate: 6,5 až 8 ns															
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64	-62
Zisk měřené antény [dB]	-9,95	-10,40	-11,07	-11,72	-12,56	-12,40	-11,71	-10,56	-9,33	-7,87	-6,65	-5,39	-4,22	-2,91	-2,12
Výchylka [°]	-60	-58	-56	-54	-52	-50	-48	-46	-44	-42	-40	-38	-36	-34	-32
Zisk měřené antény [dB]	-1,24	-0,46	0,51	1,15	1,90	2,55	3,01	3,42	3,90	4,29	4,69	5,02	5,34	5,55	5,81
Výchylka [°]	-30	-28	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2
Zisk měřené antény [dB]	6,07	6,39	6,65	7,01	7,21	7,30	7,49	7,64	7,82	7,95	8,20	8,41	8,65	8,81	8,94
Výchylka [°]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Zisk měřené antény [dB]	9,05	9,00	8,92	8,87	8,84	8,76	8,60	8,42	8,26	8,11	7,90	7,57	7,14	6,62	5,90
Výchylka [°]	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
Zisk měřené antény [dB]	5,30	4,52	3,93	3,21	3,78	0,56	-0,49	-1,96	-3,63	-5,25	-6,97	-8,48	-9,54	-12,15	-11,89
Výchylka [°]	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88
Zisk měřené antény [dB]	-11,95	-10,80	-9,42	-8,25	-7,03	-6,10	-5,50	-4,86	-4,35	-3,97	-3,72	-3,49	-3,63	-3,56	-3,66

Srovnání naměřených a katalogových hodnot:

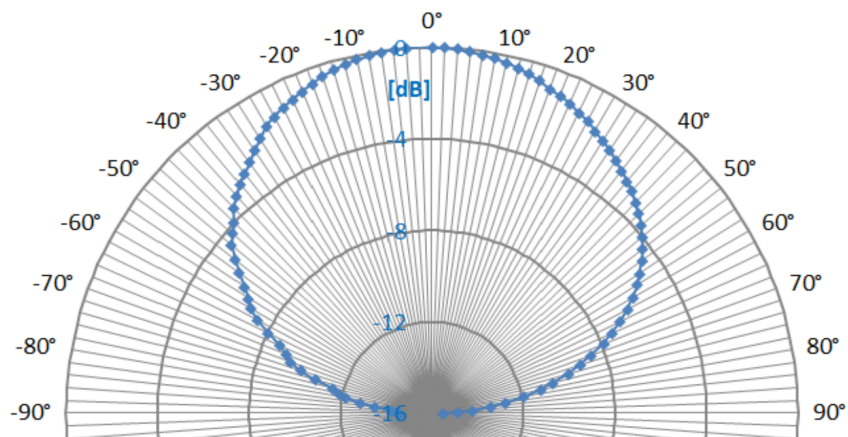
f = 950 MHz	DRH370_170610A370	DRH10_181001A10	mikropásková anténa
Naměřený zisk	9,05 dB	6, 53 dB	-8,27 dB
Údaje výrobce	9 dB	6,4 dB	-

Šířka hlavního laloku (při poklesu na poloviční výkon):

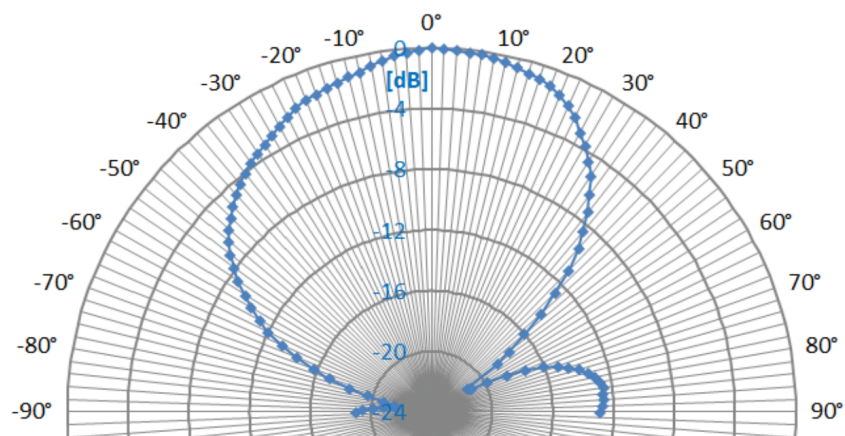
f = 950 MHz	DRH370_170610A370	DRH10_181001A10	mikropásková anténa
Naměřená šířka	54°	82°	116°
Údaje výrobce	~ 60°	~ 80°	-

Grafy směrových charakteristik měřených antén:

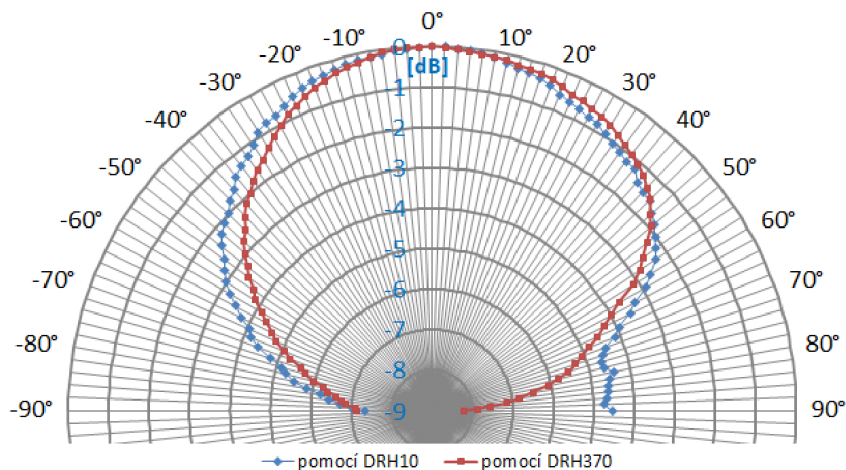
DRH10_181001A10, horizontální rovina - 950 MHz



DRH370_170610A370, horizontální rovina - 950 MHz



mikropásková anténa, horizontální rovina - 950 MHz



Vyhodnocení měření:

Dle návodu „MĚŘENÍ SMĚROVÉ CHARAKTERISTIKY ANTÉN“ jsem odměřil horizontální směrové charakteristiky tří vybraných antén. K měření jsem zvolil metodu tří antén, abych mohl ověřit naměřený zisk a šířku pásma antén.

Ze srovnání naměřených hodnot je patrná odchylka naměřených a katalogových zisků. Rozdíl mezi hodnotami je však zanedbatelný (řádově 0,1 dB).

Šířka hlavního laloku (pokles na poloviční výkon) je v katalogu uvedena pouze ve formě grafu. Proto srovnání je pouze orientační.

Z pohledu měření je nejzajímavější graf směrové charakteristiky mikropáskové antény. Zde se projevil vliv větší šířky laloku vysílací antény DRH10 a měřené mikropáskové antény. Výsledkem jsou pak odrazy v místnosti, hlavně pro výchylku v rozmezí 70° až 90°. Zmíněné odrazy se dají odstranit vhodnějším umístěním antény a úpravou měřících parametrů nebo výměnou vysílací antény za anténu s užší směrovostí.

Katalogové listy:

<https://www.rfspin.cz/cs/anteny/merici-anteny/drh10>

<https://www.rfspin.cz/cs/anteny/merici-anteny/drh370>

H Měření metodou polovičního zisku

Naměřené hodnoty:

Metoda polovičního zisku, Antény: DRH10_181001A10 a DRH10_160504A10; rozestup: 2,5 m; frekvence: 6 GHz; vysílací výkon: 0 dBm; Lo = -55,96 dB → G = 13,25 dB														
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64
Změřeno [dBm]	-54,9	-54,17	-54,35	-55,71	-58,36	-61,35	-59,7	-56,2	-54,62	-54,72	-56	-56,54	-55,16	-53,5
Výchylka [°]	-62	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Změřeno [dBm]	-51,78	-50,22	-51,14	-58,92	-59,65	-64,95	-54,7	-43,34	-37,53	-34,25	-32,25	-30,78	-29,75	-29,47
Výchylka [°]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	62	64
Změřeno [dBm]	-30,02	-31,04	-32,4	-34,87	-39,13	-46,64	-62,31	-62,48	-65,5	-53,67	-49,02	-52,71	-57,01	-57,59
Výchylka [°]	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	
Změřeno [dBm]	-53,61	-50,94	-49,81	-49,93	-51,3	-54,84	-62,33	-61,06	-54,77	-51,5	-50,2	-50,07	-50,57	

Vypočítané zisky antén DRH10 pomocí metody polovičního zisku:

Metoda polovičního zisku, Antény: DRH10_181001A10 a DRH10_160504A10; rozestup: 2,5 m; frekvence: 6 GHz; vysílací výkon: 0 dBm; L ₀ = -55,96 dB -> G = 13,25 dB														
Výchylka [°]	-90	-88	-86	-84	-82	-80	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64
Zisk antény [dB]	0,5318	0,8968	0,8068	0,1268	-1,1982	-2,6932	-1,8682	-0,1182	0,6718	0,6218	-0,0182	-0,2882	0,4018	1,2318
Výchylka [°]	-62	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Zisk antény [dB]	2,0918	2,8718	2,4118	-1,4782	-1,8432	-4,4932	0,6318	6,3118	9,2168	10,8568	11,8568	12,5918	13,1068	13,2468
Výchylka [°]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	62	64
Zisk antény [dB]	12,9718	12,4618	11,7818	10,5468	8,4168	4,6618	-3,1732	-3,2582	-4,7682	1,1468	3,4718	1,6268	-0,5232	-0,8132
Výchylka [°]	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	
Zisk antény [dB]	1,1768	2,5118	3,0768	3,0168	2,3318	0,5618	-3,1832	-2,5482	0,5968	2,2318	2,8818	2,9468	2,6968	

Směrová charakteristika měřené antény:

